




BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio
Palchetto
Num.° d'ordine

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DES

CHEMINS DE FER

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1





Inventeur de la Locomotive
à grande vitesse

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DES

CHEMINS DE FER

PAR

AUG. PERDONNET

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES
ADMINISTRATEUR DES CHEMINS DE L'EST DE LA FRANCE ET DE L'OUEST DE LA SUISSE, MEMBRE DU COMITÉ DE DIRECTION
DES CHEMINS DE FER DE L'EST DE LA FRANCE
PRÉSIDENT HONORAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE, ETC.

DEUXIÈME ÉDITION

TOME SECOND

PARIS
GARNIER FRÈRES, S^rs DE LANGLOIS ET LECLERCQ, ÉDITEURS
6, RUE DES SAINTS-PÈRES, ET PALAIS-ROYAL 215

1860

PRÉFACE

DU SECOND VOLUME DE LA DEUXIÈME ÉDITION

Près de trois années ont séparé la publication des deux volumes de cette seconde édition. Ce long retard, qui n'a pas été de notre fait, profitera du reste au lecteur, car il nous a permis d'enrichir ce volume d'un grand nombre de renseignements nouveaux.

Nous avions déjà apporté, dans la première édition, un soin tout particulier à l'étude jusqu'à ce jour trop négligée de la disposition des stations. Nous avons fait toutefois, dans celle-ci, des additions considérables au chapitre où cette question est traitée. Ce chapitre contient le résumé d'un travail important sur l'étendue des gares, rédigé par nous pour le *Nouveau Portefeuille de l'Ingénieur*. Nous y avons introduit aussi de précieuses données sur les nouvelles stations du chemin de fer de l'Ouest.

Le texte du chapitre des waggons a été, en grande partie, remanié. Nous n'avons surtout rien négligé pour aider à la solution d'un problème aujourd'hui à l'ordre du jour dans les

Compagnies françaises de chemins de fer : la substitution de l'huile à la graisse pour le graissage.

Le chapitre des locomotives a été complétement refondu. Nous avons décrit, même dans leurs détails, les principaux systèmes de locomotives en usage sur nos grandes lignes.

La théorie s'est trouvée enrichie des résultats d'expériences jusqu'à ce jour inédites, faites par notre regrettable ami et collaborateur, M. Camille Polonceau, et d'un extrait de celles qu'a publiées M. Kinnear Clark dans son excellent ouvrage anglais *Railway Machinery*.

Au chapitre des *Nouveaux Systèmes*, nous avons parlé des perfectionnements remarquables apportés récemment par M. Claude Arnoux au matériel articulé, — du système de M. Edmond Roy, — de la machine à fortes rampes de M. Eugène Flachat, — de celle de M. Beugnot, — enfin des différents systèmes plus ou moins fumivores essayés dans ces dernières années.

Nous avons, dans un chapitre spécial, résumé les règles et posé les principes qui doivent présider à la construction des chemins de fer et qui se trouvent dispersés dans ces deux volumes.

Dans l'Appendice, nous avons décrit sommairement le pont suspendu du Niagara, le procédé nouveau employé par M. Fleur Saint-Denis pour fonder le pont de Kehl, le procédé que l'on se propose d'employer pour le percement du mont Cenis, les procédés de fabrication des rails dans les grandes usines de France, d'Allemagne, de Belgique et d'Angleterre.

Un ouvrage de la nature du *Traité élémentaire des Che-*

mins de fer devant être consulté plutôt que lu couramment, nous avons, pour faciliter les recherches, multiplié les divisions et subdivisions de chapitres, et nous avons terminé le volume par deux tables, l'une analytique, l'autre alphabétique. La dernière a été faite, avec un soin tout particulier, par notre secrétaire, M. Jacquin.

Le *Nouveau Portefeuille de l'Ingénieur*, dont neuf livraisons sur douze auront paru au mois de juillet, et qui sera terminé à la fin de cette année ou au commencement de l'année prochaine, complétera, pour les ingénieurs qui font une étude spéciale des chemins de fer, le traité élémentaire, dont le titre annonce assez que les questions ne sauraient y être trop approfondies. Le concours de M. Polonceau nous faisant défaut, nous avons, pour la continuation du *Portefeuille*, obtenu celui de M. Sauvage, ingénieur en chef au corps impérial des Mines, et ingénieur en chef du matériel et de la traction aux chemins de fer de l'Est.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DES

CHEMINS DE FER

CHAPITRE IX

DE LA DISPOSITION DES GARES

GARES EXTRÊMES

PARTIE CONSACRÉE AU SERVICE DE LA GRANDE VITESSE

Composition de cette partie de la gare considérée dans son ensemble

Généralités et dispositions diverses. — Nous avons essayé de faire sentir plus haut la nécessité de consacrer aux gares un espace suffisant, et nous avons montré que le service, dans celles de certains chemins de fer exploités, est difficile et coûteux parce qu'elles manquent d'étendue.

Leur disposition n'exerce pas sur le service une moins grande influence que leur étendue. Nous l'étudierons en commençant par les gares extrêmes.

Celles-ci doivent toujours renfermer :

1° Outre les voies principales du chemin sur lesquelles partent

et arrivent les trains, des voies de service pour les manœuvres des locomotives et pour leur remisage ou pour celui des voitures. Ces voies sont en plus ou moins grand nombre, suivant le plus ou moins d'activité, et suivant la nature du mouvement sur le chemin de fer;

2° Des bâtiments contenant les bureaux de distribution des billets, des salles d'attente, des salles pour le dépôt des bagages au départ et à l'arrivée, et autres accessoires;

3° Des bâtiments spéciaux pour le remisage des locomotives et des voitures;

4° Des réservoirs d'eau, et des grues hydrauliques pour l'alimentation des machines locomotives;

5° Sur les grandes lignes, toujours dans la partie de la gare consacrée au service des voyageurs, des bâtiments pour le service des marchandises à grande vitesse, dites messagerie.

Elles renferment encore très-souvent les bureaux de l'administration de la Compagnie, et quelquefois des ateliers de réparation plus ou moins considérables, avec magasins y attenant.

Enfin, lorsque le service des marchandises le nécessite, les gares extrêmes contiennent de grands bâtiments et d'autres dépendances appropriés à ce service, placés ordinairement sur un terrain spécial tout à fait distinct de celui où sont situés les locaux affectés au service des voyageurs et de la marchandise à grande vitesse.

Les voitures qui conduisent les voyageurs au chemin de fer, ou qui les emmènent, stationnent, sur quelques lignes, en dehors de la gare. En Angleterre, et sur la plupart des nouvelles lignes construites sur le continent (Lyon, Strasbourg, Ouest, etc.), on a réservé dans l'intérieur des gares un espace destiné aux voitures qui amènent les voyageurs et à celles qui les emmènent. Ces cours sont de nouvelles dépendances de la gare.

Il est nécessaire aussi de réserver des cours d'un facile accès pour le service des marchandises à grande vitesse.

L'espace occupé par les voies, les bâtiments, les hangars ou les cours, est très-variable, comme le mouvement de chaque ligne.

On peut diviser par la pensée, et pour faciliter la description, les gares extrêmes en deux parties qui, en réalité, ne sont séparées

par aucune ligne de démarcation, et forment par conséquent un ensemble unique :

1° La partie consacrée spécialement au service des voyageurs et au chargement des chaises de poste (exception faite d'un très-petit nombre de cas particuliers), avec les cours ou remises qui en dépendent immédiatement, et les bâtiments contenant les bureaux, les salles d'attente, salles de bagages, etc., partie où, sur les chemins anglais ou français, les voies principales sont toujours bordées de trottoirs ;

2° La partie située au delà de l'extrémité des trottoirs de voyageurs, et où se trouvent les changements de voie, réservoirs, bâtiments spéciaux pour le remisage des waggons ou des locomotives, les ateliers, magasins, halles couvertes et dépendances nécessaires pour le service des marchandises.

Sur les chemins anglais et français, les voies longeant les trottoirs qui reçoivent les voyageurs, pour le départ ou à l'arrivée, sont toujours couvertes, ainsi que les trottoirs eux-mêmes et les voies intermédiaires. Cette précaution s'étend même, en Angleterre, à l'espace où stationnent les voitures qui amènent ou attendent les voyageurs.

Nous regardons comme indispensable de couvrir les trottoirs et les voies entre les trottoirs, non-seulement dans l'intérêt des voyageurs, mais aussi pour la conservation du matériel qu'on est obligé de laisser stationner sur les voies.

Les bâtiments renfermant les salles d'attente sont placés à côté des trottoirs, de telle façon que les voyageurs puissent, en sortant des salles d'attente, passer dans les waggons sans être exposés aux injures du temps.

Si, en Angleterre, les voitures déposent le plus souvent sous un péristyle les voyageurs qu'elles amènent aux chemins de fer, il n'en est pas ainsi dans les gares françaises, où, en général, il n'existe pas d'abri pour les voitures.

Au chemin de l'Est, gare de Paris, on a établi dans la cour d'arrivée, le long du bâtiment qui renferme la salle des bagages, une belle et large marquise sous laquelle les omnibus et les voitures chargent à couvert les voyageurs et les bagages.

Nous recommandons de faire, autant que possible, descendre les voyageurs de voiture ou de les y faire monter à couvert.

Il convient aussi d'abriter, comme aux chemins de Lyon et de l'Ouest, les voitures qui attendent les voyageurs.

Les chevaux et les voitures, même dans le cas contraire, souffrent beaucoup des intempéries de l'air.

En Belgique, il y a quelques années, les voies étaient rarement couvertes, les bâtiments des salles d'attente étaient souvent éloignés de la voie, et, comme les voitures sont très-basses, on n'avait pas établi de trottoirs.

Des travaux importants ont été exécutés depuis lors pour améliorer cet état de choses.

En Allemagne, les voies sont bordées de trottoirs et couvertes; mais le bâtiment des salles d'attente y est quelquefois séparé des trottoirs par un espace découvert.

Le service des marchandises, dans toutes les nouvelles gares anglaises et françaises, se fait dans un emplacement tout à fait distinct de celui qui est consacré aux voyageurs.

Les voies principales du service des marchandises se détachent alors, à une petite distance de la gare ou dans la gare elle-même, de celles du service des voyageurs. (Gares de Lyon, d'Orléans, de l'Est, de Bristol, de Birmingham, etc., etc.)

Les bâtiments contenant les salles d'attente et les bureaux pour la distribution des billets ou l'inscription des bagages sont tantôt placés sur le côté des voies (chemins d'Orléans; de Versailles, rive

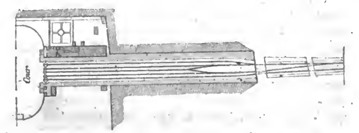


Fig. 252. — Gare du chemin de fer de Versailles (rive gauche), à Versailles.

gauche, à Versailles, plan fig. 252; de Lyon, de l'Est, de Londres

à Birmingham), tantôt à l'extrémité et au travers des voies (che-

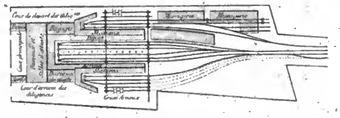


Fig. 253. — Gare du chemin de fer du Nord, à Paris.

mins du Nord, plan fig. 253; de Rouen, de Bristol, etc., etc.), tantôt au milieu des voies (chemin de Versailles, rive droite). D'autres fois, comme au chemin de l'Est, fig. 254, les salles d'at-

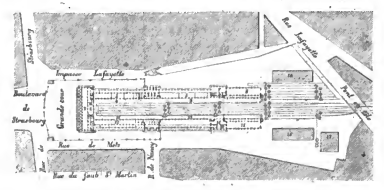


Fig. 254. — Plan de la gare des voyageurs du chemin de l'Est, à Paris.

LÉGENDE :

Ce plan représente la gare avec les agrandissements qu'on a projeté d'y apporter.

1 Vestibule (ligne de Strasbourg).
2 Billets et bagages au départ (Id.).
3 Salles d'attente (Id.).
4 Trottoir de départ (Id.).
5 Salles d'attente (ligne de Mulhouse).
6 Billets (Id.).
7 Vestibule (Id.).
8 Bagages au départ (Id.).
9 Trottoir de départ (Id.).
10 Messageries au départ.
11 Trottoir d'arrivée (ligne de Strasbourg).
12 Bagages arrivant (Id.). Vestibule de sortie.
13 Trottoir d'arrivée (ligne de Mulhouse).
14 Vestibule de sortie (Id.).
15 Salle de visite de l'octroi.
16 Douane.
17 Petit atelier.

tente (ligne de Strasbourg) sont placées sur le côté. Les bureaux pour la distribution des billets aux voyageurs de cette ligne, et la salle pour le dépôt des bagages au départ, sont placés en tête. Les

bureaux pour la distribution des billets aux voyageurs de la ligne de Mulhouse et la salle pour le dépôt des bagages se trouvent les uns et les autres sur le côté du trottoir dans la gare définitive représentée fig. 254 ; mais, dans la gare provisoire telle qu'elle existe aujourd'hui, la salle d'attente du chemin de Strasbourg, élargie et convenablement distribuée, sert pour les deux lignes, et les trottoirs de la ligne de Mulhouse sont en dehors de la grande halle.

Sur le chemin de Paris à Auteuil, les salles d'attente ont été placées au-dessus des voies, et, au chemin de Montpellier à Nîmes, au-dessous ; mais, comme ces dernières dispositions s'appliquent plutôt aux stations intermédiaires qu'aux stations extrêmes, nous n'en parlerons que plus loin.

Le plus généralement, les convois partent toujours de la même voie, qui est la voie de départ, et arrivent aussi sur une même voie, qui est la voie d'arrivée.

Ces deux voies, séparées par les voies de remisage, sont bordées, l'une par le trottoir de départ, l'autre par le trottoir d'arrivée (gares parisiennes).

Quelquefois, cependant, la voie de départ et la voie d'arrivée sont contiguës, et un seul et même trottoir échancré sert en même temps pour le départ et pour l'arrivée (gare de Derby, plan fig. 255).

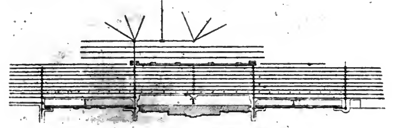


Fig. 255. — Gare du chemin de fer de Londres à Derby.

Enfin il arrive aussi que les mêmes voies et les mêmes trottoirs servent alternativement pour le départ et pour l'arrivée (chemin de Versailles, rive droite, fig. 256; chemin de Saint-Germain).

Lorsque les convois arrivent et partent toujours sur la même voie, il faut nécessairement, à chaque voyage, faire passer les

waggons de la voie d'arrivée sur la voie de départ. Cette manœuvre se fait ordinairement avec les machines locomotives, au moyen des changements de voie. Quelquefois aussi les waggons passent d'une voie sur l'autre par les plaques tournantes.

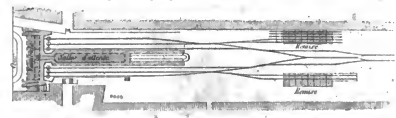


Fig. 256. — Gare du chemin de fer de Paris à Versailles (rive droite), à Versailles.

C'est pour éviter cette manœuvre, sur les chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive droite), où les départs ont lieu quelquefois de quart d'heure en quart d'heure, qu'on est parti alternativement sur l'une et sur l'autre voie, et qu'on s'est trouvé ainsi amené à construire, sur le chemin de Saint-Germain, deux bâtiments de salles d'attente, un de chaque côté des voies, et, sur le chemin de Versailles (rive droite), un bâtiment entre les trottoirs, au milieu de la gare fig. 256.

De quelque manière que soient placés le bâtiment des salles d'attente et le bureau, il est convenable qu'il existe du côté du départ, aussi bien que du côté de l'arrivée, une cour fermée par une grille.

Le nombre, la longueur et la disposition des voies varient avec l'activité du service, sa nature et la forme ou l'étendue du terrain que l'on peut consacrer à la gare.

Au chemin de Londres à Douvres (gare de Londres) et à celui de Londres à Birmingham (gare de Birmingham), au chemin du Nord (gare de Paris), et au chemin de Lyon, le nombre des voies entre les trottoirs est de six. Les quatre voies comprises entre la voie de départ contiguë au trottoir de départ et la voie d'arrivée contiguë au trottoir d'arrivée, sont des voies de remisage ou de service. Toutes ces voies sont terminées par des plaques tournantes.

Au chemin Great-Western (fig. 257), en Angleterre, le nombre des voies entre les trottoirs est de 10; au chemin Great-Northern de 14 (fig. 258).

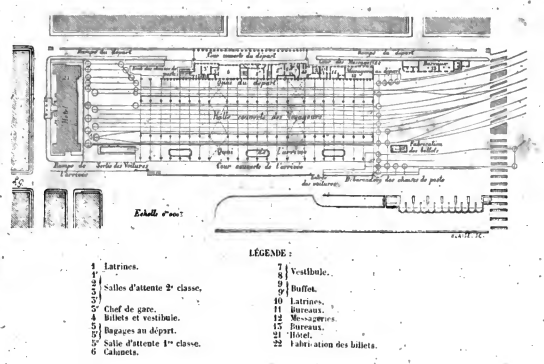


Fig. 257. — Gare des voyageurs du Great-Western.

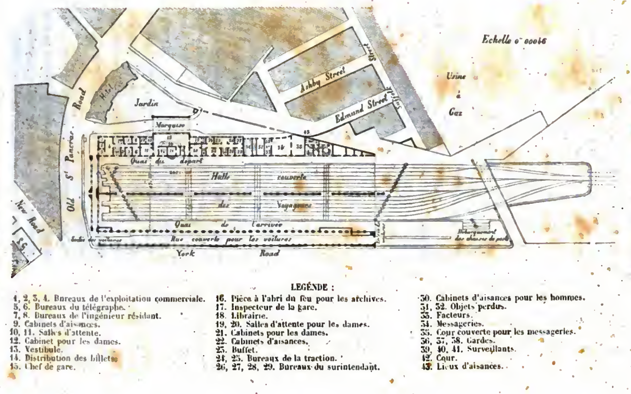


Fig. 258. — Gare des voyageurs du Great-Northern.

Derrière les plaques est un trottoir transversal qui réunit les trottoirs de départ et d'arrivée, et derrière ce trottoir, lorsque le bâtiment est sur le côté, une cour dont le sol est au même niveau que le trottoir.

Ce trottoir sert ordinairement, en Angleterre, au chargement de chaises de poste ou de voitures particulières sur des truks (waggons à plate-forme), que l'on amène pour les recevoir sur les plaques tournantes ou sur une petite portion de voie établie au delà des plaques et pénétrant dans l'intérieur du trottoir.

Le déchargement s'opère ou sur le même trottoir ou sur un autre point à l'extrémité de l'emplacement où stationnent les omnibus (gare de Bricklayers).

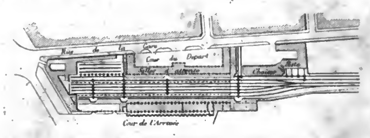


Fig. 259. — Gare du chemin de fer de Paris à Orléans, à Paris.

Au chemin d'Orléans (gare de Paris), fig. 259, les voies placées entre les trottoirs ont été pendant longtemps au nombre de quatre seulement; il n'y avait donc sur ce chemin que deux voies de remisage ou de service; mais, le terrain le permettant, on a prolongé les voies au-delà de la rangée de plaques tournantes formant la limite que ne dépassent jamais les convois de voyageurs, et les voies prolongées sont devenues toutes les quatre des voies de remisage. Plus tard on a porté à six le nombre des voies placées entre les trottoirs, et ajouté sur le côté du départ, à côté des voies de remisage, quatre nouveaux tronçons.

On peut considérer, par conséquent, la gare du chemin d'Orléans à Paris comme composée de deux parties, séparées par une rangée de plaques tournantes, l'une servant de remise aux voitures, l'autre affectée spécialement au service des voyageurs.

Le chargement des chaises de poste a lieu sur une voie posée à gauche de la voie de départ et en dehors de la halle couverte ; le mouvement s'y fait au moyen des voies perpendiculaires et de plaques tournantes spéciales ; le déchargement a lieu presque en face, sur la voie d'arrivée.

On a aussi transporté pendant longtemps, sur le chemin d'Orléans, les caisses de diligences des entreprises de messageries sur des waggons spéciaux. Le chargement de ces caisses n'avait pas lieu dans le même endroit que celui des chaises de poste. Il se faisait dans un emplacement spécial, sur une voie latérale, au delà des trottoirs, au moyen d'appareils particuliers.

Dans l'origine, au chemin de l'Est, les voies couvertes étaient au nombre de cinq seulement, et le chargement ou le déchargement des chaises de poste ou des caisses de diligences à transporter sur waggons spéciaux avaient lieu sur des voies latérales en dehors de la gare couverte. L'administration de ce chemin a posé une sixième voie en rétrécissant les trottoirs.

Au chemin de Lyon, le nombre des voies couvertes est de six, et elles se prolongent, comme au chemin d'Orléans, de manière à servir de voies de remisage.

Au chemin de Versailles (rive gauche), dans l'ancienne gare de Paris, aujourd'hui détruite, le nombre des voies longeant les trottoirs n'était que de trois VV'V" (fig. 260) : une voie de départ, une

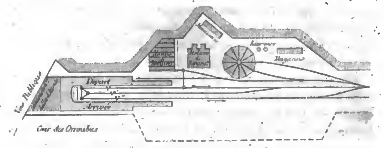


Fig. 260. — Ancienne gare du chemin de fer de Paris à Versailles, rive gauche (à Paris).

voie d'arrivée et une voie intermédiaire servant à la manœuvre des locomotives.

Au même chemin, les plaques tournantes n'étaient pas en ligne

droite, mais placées aux trois sommets d'un triangle, et les voies se recourbaient à leur approche.

Les voies de remisage se trouvaient à l'extrémité et à côté du trottoir de départ.

Les plaques tournantes servent à faire passer les voitures des voies de remisage sur la voie de départ. Elles servent aussi quelquefois à la manœuvre des locomotives, comme nous allons l'expliquer.

Supposons un convoi arrivé en gare. Les waggons arrêtés, on dételle la machine et on la sépare de son tender. On amène la machine sur la plaque tournante placée à l'extrémité de la voie d'arrivée et on la fait passer, au moyen d'une autre plaque, sur la voie de service parallèle. On la replace ainsi dans sa position normale, c'est-à-dire la cheminée en tête. On fait passer de la même manière le tender sur la voie de service, et on l'attelle de nouveau derrière la machine. Cela fait, on revient, au moyen du changement de voie, sur la voie d'arrivée, où la machine et son tender se trouvent alors en queue du convoi, au lieu d'être en tête. On les attelle à ce convoi, que l'on fait passer, en le traînant, sur la voie de départ, au travers des voies de service, à l'aide des changements de voie et des voies obliques. On recule sur cette voie, et l'on arrive ainsi devant le trottoir de départ. La machine et son tender quittent de nouveau ce train, et reviennent par les changements de voie se placer au-dessus d'une fosse à piquer le feu et près d'une grue hydraulique. Là, on nettoie la machine, on la graisse; on l'alimente d'eau et de combustible, et on la replace de nouveau sur la voie de départ en tête du train prêt à partir.

On peut aussi faire passer les waggons de la voie d'arrivée sur celle de départ, aussitôt que le convoi est arrivé, en poussant ce convoi, au lieu de le traîner en travers des changements de voie, jusque sur la voie de départ, et en l'amenant à reculons devant la voie de départ; mais il n'en faut pas moins conduire ensuite la machine avec son tender sur les plaques tournantes pour la retourner bout pour bout, l'alimenter d'eau et de combustible, et la ramener sur la voie de départ en tête du convoi.

Cette manœuvre est indispensable, car *les machines doivent*

marcher toujours en tête des convois, en les traînant, et jamais en arrière, en les poussant.

Si les machines étaient placées derrière le convoi, le mécanicien ne pourrait apercevoir les obstacles que l'on rencontre quelquefois sur les voies, et s'arrêter à temps pour éviter les chocs. Il arriverait aussi qu'un waggon venant à dérailler, la machine pousserait par-dessus tous les waggons qui le suivent.

Le danger serait le même, quoique beaucoup moins grand, si le tender marchait devant la machine au lieu de marcher derrière. *Ce n'est donc que rarement, et par exception, que l'on doit marcher avec le tender en avant. Toutefois sur certains chemins des environs de Londres, où les départs sont très-fréquents, le service, pour éviter les retards, se fait régulièrement tender en avant.*

Le service des locomotives s'est fait pendant longtemps, dans les gares anglaises ainsi que dans la plupart de nos gares, comme nous venons de le dire. Aujourd'hui il s'y fait souvent d'une autre façon.

La machine n'accompagne plus le convoi jusque sur la voie d'arrivée. A une centaine de mètres des trottoirs d'arrivée, ou même davantage, les convois s'arrêtent, les surveillants de la gare ou les conducteurs de waggon, circulant sur un petit trottoir spécial, recueillent les billets des voyageurs; la machine, accompagnée de son tender, est détachée du convoi; elle passe, au moyen des changements de voie, derrière le convoi, le pousse jusque sur la voie d'arrivée, vis-à-vis du trottoir, puis, quand les voyageurs sont descendus, le conduit sur la voie de départ. Cela fait, elle se rend seule avec son tender sur une grande plaque tournante d'environ 12 mètres de diamètre, établie à une certaine distance de la portion de gare consacrée au départ et à l'arrivée des voyageurs. On la retourne bout pour bout sur cette plaque, sans la détacher du tender, et elle se transporte auprès du réservoir et du magasin de coke, d'où, après avoir été alimentée et nettoyée, elle revient sur la voie de départ se placer en tête du convoi (gare de Bricklayers, chemin de Douvres, chemin de Strasbourg).

Au chemin de Lyon, la gare couverte étant très-longue, la machine, au lieu d'employer les plaques pour se dégager, passe, à

l'aide d'un changement de voies, sur une voie de service, pour ensuite, à l'aide d'un autre changement, venir se placer en tête du train ; mais il y a toujours nécessité à ce qu'en définitive elle fasse usage de plaques pour changer la position du tender, qui ne doit pas se trouver en avant. La manœuvre a lieu dans ce cas au dépôt, sur une grande plaque, en dehors de la gare couverte, sans détacher le tender.

Deux voies entre les trottoirs, celle de départ et celle d'arrivée, suffiraient à la rigueur, lorsque la manœuvre se fait, comme aux chemins de Douvres et de Rouen (gare de Rouen), sans que la machine entre dans l'espace réservé entre les trottoirs. Mais, quand les machines accompagnent les convois jusqu'aux plaques tournantes de l'extrémité du chemin, il faut toujours, outre les voies de départ et d'arrivée, une voie de service.

Cette voie de service est ordinairement placée entre les voies de départ et d'arrivée. Dans la gare de Bâle, cependant, elle a été posée en dehors. En l'isolant ainsi, on a eu pour but de prévenir les accidents auxquels les voyageurs eussent été exposés en traversant les voies pour se rendre des trottoirs d'arrivée dans la cour de départ, qui, dans cette gare, sert aussi de cour d'arrivée.

Ces voies spéciales sont encore très-utiles pour remiser des voitures de différentes espèces que l'on ajoute suivant les besoins aux convois. Ce n'est donc que lorsque la largeur de la gare ne le permet pas, comme au chemin de fer de Versailles (rive gauche), ancienne gare de Paris, que l'on s'abstient d'en établir.

Si, comme au chemin d'Orléans à Paris ou au *Great Western railway* à Bristol, la gare est très-longue, et que, les salles d'attente étant placées sur le côté, l'on puisse en consacrer une partie exclusivement au remisage, il n'est pas nécessaire de poser un nombre de voies de remisage aussi grand entre les voies de départ et d'arrivée.

Ainsi, dans la longue gare du chemin d'Orléans à Paris, on n'avait posé dans l'origine que quatre voies en tout entre les trottoirs, tandis que, dans les gares plus courtes du chemin de Londres à Douvres (gare de Londres) et dans celle de Birmingham du chemin de Londres à Birmingham, on en a posé six.

Sur un chemin de fer qui, comme celui du Nord, réunit au service principal d'une ligne importante un service très-actif de banlieue, six voies et deux trottoirs sont considérés comme insuffisants. Au chemin du Nord, on a posé pour le service de la banlieue douze nouvelles voies en dehors de la gare couverte, et l'on a établi de nouveaux trottoirs couverts le long de ces voies.

Les gares très-larges, quand elles sont couvertes de charpentes hardies et élégantes, comme celle de la gare du Nord, ou celle de la gare de l'Est, prennent un caractère grandiose en harmonie avec l'importance du chemin dont elles forment la tête, caractère que n'ont pas les gares longues et étroites.

Nous recommandons surtout les larges trottoirs, tels que ceux des gares de Birmingham, Orléans, Nord, Lyon, etc.

Nous avons vu qu'on plaçait toujours, à l'extrémité des trottoirs de départ et d'arrivée des voyageurs, une rangée de plaques tournantes. Lorsque ces plaques sont en ligne droite, comme au chemin de Londres à Birmingham, il faut, pour les loger, augmenter beaucoup l'écartement des voies. Ainsi, les plaques ayant 4 mètres 25 seulement de diamètre, l'écartement des voies doit être porté à 3 mètres au minimum. On peut réduire cet écartement, ou du moins ne l'augmenter que faiblement, en disposant les plaques triangulairement, comme au chemin de Versailles (rive gauche), ancienne gare de Paris. On peut aussi faire converger les axes de deux ou un plus grand nombre de voies vers une seule plaque, comme on l'a fait aux chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive droite).

On peut faire enfin converger les axes de toutes les voies vers le centre d'une plaque unique, comme au chemin de Newcastle à Carlisle.

Dans ces différents cas, on est obligé de courber les voies aux approches des plaques; et si alors on ne peut faire usage que de plaques de petit diamètre, il résulte de cette courbure une grande fatigue pour les hommes qui, après avoir détaché le tender de la machine, sont obligés de le pousser sur la plaque. Cet inconvénient disparaît lorsque les plaques sont, comme celles des chemins de Vienne, et de Newcastle à Carlisle, de diamètre suffisant pour

porter ensemble la machine et le tender. Mais alors il faut un personnel spécial pour la manœuvre de cette grande plaque, tandis qu'en la plaçant en dehors de la gare couverte, au dépôt, comme au chemin de Lyon, elle peut être manœuvrée, sans surcroît de frais, par le personnel du dépôt. La machine avec son tender, dans ce dernier cas, si elle pénètre sous la halle, se dégage avec avantage du convoi pour aller rejoindre la grande plaque, comme au chemin de Lyon, au moyen d'un changement de voie établi, et d'une voie de service latérale à la voie d'arrivée.

Dans la gare de Metz, les plaques sont en quinconce.

Dans plusieurs gares où les machines ne pénètrent pas jusqu'au fond de la gare, comme par exemple la gare de Strasbourg sur le chemin de fer de l'Est, on substitue un chariot aux plaques tournantes.

Le faible écartement des voies (1^{m},80) ou largeur de l'entre-voie dans la gare du chemin de Versailles (rive gauche) est sans inconvénient parce que la voie du milieu est exclusivement consacrée au service des locomotives, et qu'il n'existe aucune voie intermédiaire pour le remisage; mais cet écartement serait trop faible pour des voies de remisage. Il est convenable que, pour ces voies, il soit de 3^{m},50, comme au chemin de Lyon, afin qu'on puisse circuler aisément entre les voitures pour les visiter; sans avoir à se préoccuper du mouvement d'un convoi sur une voie contiguë; et même, quand on veut, comme dans les gares intermédiaires, faire tourner les voitures sur les plaques sans danger, cet écartement doit être porté à 4 mètres.

Lorsqu'on pose une seconde rangée de plaques à l'autre extrémité des trottoirs, ou une troisième dans le milieu, ces plaques, n'étant généralement employées que pour la manœuvre des voitures, peuvent être de petit diamètre.

Comme il importe de ne pas interrompre les voies principales, on emploie souvent alors des plaques à voies perpendiculaires.

On emploie aussi, au lieu de locomotives, des chariots pour transporter les voitures d'une voie sur une autre. L'usage commence à s'en répandre, surtout dans les gares extrêmes. Ils doivent être disposés, comme celui du chemin de Bristol, comme celui de

Dünn, décrit page 591 du premier volume, ou comme tout autre chariot analogue, de manière qu'en les déplaçant on n'interrompe jamais les voies. Les chariots étant plus difficiles à déplacer que les plaques tournantes, on ne s'en est servi pendant longtemps que dans les ateliers.

On néglige souvent de placer des heurtoirs à l'extrémité des gares; ils nous paraissent cependant indispensables, surtout quand le bâtiment des salles d'attente est en tête. Au chemin de Saint-Germain, avant qu'on eût établi des heurtoirs dans la gare du Pecq, une machine est arrivée avec une telle vitesse, qu'elle a renversé un pan de la maison qui se trouvait en tête et qui renfermait les bureaux de distribution des billets.

Le heurtoir n'est pas seulement nécessaire à l'extrémité de la voie d'arrivée, car une machine placée sur toute autre voie peut, étant abandonnée à elle-même avec un régulateur imparfaitement fermé, marcher dans un sens ou dans l'autre, selon la position du levier d'embrayage.

Terminant ici la description de la partie antérieure des gares extrêmes et l'exposé des manœuvres à l'arrivée et au départ du convoi, nous reviendrons en arrière pour présenter quelques observations critiques sur les différentes dispositions ou manœuvres dont nous avons parlé.

Comparaison des différentes dispositions. — Nous avons dit que le bâtiment des salles d'attente, le bureau de distribution des billets et les salles de bagages étaient placés tantôt à côté de la voie de départ, tantôt en tête, et que quelquefois les salles d'attente seules étaient sur le côté, les bureaux pour la distribution des billets ainsi que les salles pour le dépôt des bagages étant placés en tête. Dans un seul cas, sur le chemin de Versailles (rive droite), à Versailles, les salles d'attente ont été placées au milieu de la gare.

Ces différentes dispositions du bâtiment des salles d'attente et de bagages présentent des avantages ou des inconvénients dont nous allons essayer de nous rendre compte.

Si la disposition des bâtiments n'est pas commandée par la forme et par l'étendue du terrain, l'ingénieur ou l'architecte aura, avant de faire son choix, à peser les considérations suivantes :

Les bâtiments étant placés sur le côté, on peut donner immédiatement, des salles d'attente sur le trottoir de départ, issue à un nombre considérable de voyageurs à la fois, ce qui est fort important les jours de grande affluence. Les voyageurs se rendant plus directement des salles dans les waggons, le classement se fait plus facilement et avec plus d'ordre que si les salles d'attente étaient en tête. Cette disposition permet aussi de placer le bureau des bagages le plus près possible du waggon sur lequel on les charge et qui se trouve toujours en tête du convoi, avantage non moins grand pour les lignes de premier ordre, où la masse des bagages atteint, à certaines époques de l'année, un chiffre dont on peut se faire difficilement une idée.

Le principal avantage des bâtiments sur le côté est donc de faciliter le service et de diminuer par suite les dépenses d'exploitation.

On peut aussi, avec cette disposition, se réserver la possibilité de prolonger les bâtiments et les trottoirs, afin de desservir les nouveaux chemins qui viendraient à s'embrancher sur une première ligne exploitée. C'est ainsi qu'à Manchester on a construit un bâtiment de 150 mètres de longueur, renfermant les bureaux et salles d'attente de trois chemins de fer dont le service est distinct, le chemin de Manchester à Birmingham, celui de Manchester à Sheffield, et le chemin de Manchester à Ashton under Lyme. Les trois chemins ont alors la même voie de départ.

On peut enfin, en cas de nécessité, prolonger le chemin de fer, sans être forcé de démolir les bâtiments. Au chemin de Bristol on a été obligé, pour prolonger les voies du côté d'Exeter, de renverser un édifice placé en tête dont la construction avait coûté fort cher.

Mais la construction sur le côté présente aussi quelques inconvénients.

Les principaux sont d'exiger une double façade, l'une en tête du chemin, l'autre sur le côté, du moins si, comme aux chemins d'Orléans et de Londres à Birmingham, l'entrée est placée sur le côté; de ne pas permettre la juxtaposition de nouvelles voies à côté des anciennes pour la création de gares nouvelles, et enfin de forcer à faire partir les voyageurs toujours du même trottoir.

On remédie, à la vérité, à ce dernier défaut en disposant le trottoir comme aux gares de Huntsbank et de Derby. Mais cette disposition n'est praticable que dans certaines localités. Ainsi elle n'aurait pu être appliquée sur les chemins de fer de Versailles, où les convois, composés quelquefois de trente waggons, ont jusqu'à 200 mètres de longueur, et où il eût été impossible de donner 400 mètres de développement aux trottoirs de départ et d'arrivée situés à la suite l'un de l'autre.

Le bâtiment des salles d'attente et celui pour la distribution des billets ont été placés sur le côté aux chemins de Londres à Birmingham (gares de Londres et de Birmingham), sur le chemin de Douvres (gare de Bricklayers), aux chemins de Lyon et d'Orléans (gares de Paris).

Ils sont en tête sur le chemin de Bristol (gare de Londres), sur le chemin de Douvres (gare de Londres), sur le chemin de Southampton (gare de Londres), sur le chemin du Nord (gare de Paris), sur le chemin de Saint-Germain (gare de Paris), sur le chemin de Versailles (rive gauche) (ancienne gare de Paris).

Au chemin du Nord, on a rédigé un projet dont l'exécution aura pour résultat de reporter sur le côté les salles d'attente qui sont aujourd'hui en tête.

En général, lorsque le bâtiment longe le trottoir de départ, il est d'usage que l'entrée du bureau se trouve sur la face du bâtiment opposée à celle qui borde le trottoir (chemins d'Orléans, Londres, Birmingham, Lyon, etc.). Au chemin de Versailles (rive gauche) toutefois, le bâtiment (gare de Versailles) étant sur le côté du trottoir (fig. 252), on entre dans les bureaux par l'une des extrémités. Au chemin de Londres à Douvres (gare de Bricklayers), on entre aussi par l'extrémité, comme au chemin de Versailles (rive gauche) les jours où l'affluence des voyageurs n'est pas extraordinaire; mais, aux jours fériés, on ouvre deux portes, l'une à l'extrémité pour les voyageurs de première classe, l'autre sur le côté pour ceux de seconde classe.

En supprimant complétement, comme on l'a fait sur le chemin de Versailles (rive gauche) dans l'ancienne gare et sur celui de l'Est, section de Strasbourg, l'admission du public sur le côté, on évite

la double façade, mais on se prive de l'avantage de préserver les voyageurs qui font queue des atteintes de la pluie, sous ces galeries couvertes qui longent le bâtiment sur la plupart des chemins d'Angleterre, et il faut consacrer une partie de l'intérieur de l'édifice à un spacieux vestibule.

L'établissement du bureau des billets en tête de la gare présente d'ailleurs un inconvénient bien autrement grave : la salle de dépôt pour les bagages, devant en être voisine, se trouve ainsi à une grande distance du waggon à bagages, toujours placé en tête du train entre le tender et les voitures de voyageurs. Les bagages sont alors transportés dans ce waggon au moyen de brouettes ou de petits chariots le long du trottoir de départ, comme au chemin de fer du Nord, ou bien il faut, comme au chemin de l'Est, amener sur les voies le waggon à bagages, en tête de la gare, pour le charger et le ramener ensuite en tête du convoi. Dans l'un et dans l'autre cas, les manœuvres sont longues et coûteuses : dans le premier, les brouettes ou chariots roulant sur le trottoir à l'heure du départ gênent la circulation des voyageurs, et, dans le second, on est obligé de consacrer au service spécial des bagages une voie qui pourrait être fort utile pour le remisage. Au chemin de l'Est, la totalité des bagages ne peut pas être chargée directement dans le waggon amené en tête de la gare, une partie considérable est forcément transportée dans des chariots sur toute la longueur du trottoir. Le chef de la gare a calculé que chacun des hommes qui roulent ces chariots parcourt de 25 à 30 kilomètres par jour.

En plaçant le bâtiment des salles d'attente au milieu de la gare, comme au chemin de fer de Versailles (rive droite), on a eu pour but de se ménager les moyens de partir et d'arriver successivement sur les deux voies latérales aux deux trottoirs qui longent ce bâtiment, et d'éviter ainsi la perte de temps qu'exige la manœuvre par laquelle on fait passer chaque convoi de la voie d'arrivée sur la voie de départ.

Cette disposition est très-ingénieuse sans doute, et il est incontestable qu'on en a tiré un très-heureux parti ; mais elle est loin d'être à l'abri de la critique.

Le bâtiment des salles d'attente partageant ainsi la gare en deux

parties distinctes et pour ainsi dire indépendantes l'une de l'autre, la surveillance du chef de gare se trouve divisée d'une manière fâcheuse ; il faut un plus grand nombre de voies, puisque, de chaque côté du bâtiment, on doit poser une voie de service pour les locomotives; en outre, la gare couvre un plus grand espace de terrain.

Quelquefois, sans doute, il peut être utile, sur un chemin où, à certains jours, les départs ont lieu de demi-heure en demi-heure, d'éviter l'obligation de changer les waggons de voie, au moment de l'arrivée; mais ce cas se présente assez rarement, et l'on parvient d'ailleurs au même résultat d'une manière plus satisfaisante, à notre avis, en plaçant le bâtiment en tête.

Comparaison des différents modes de manœuvre. — Si l'on compare entre eux les deux modes décrits plus haut pour la manœuvre des machines locomotives au moment de l'arrivée, on trouve que celui qui consiste à recueillir les billets avant l'entrée en gare et à pousser les convois de manière à ne laisser jamais pénétrer les locomotives sous la halle est préférable, en ce qu'il rend le contrôle des billets plus facile, procure l'économie d'une voie de service couverte pour la machine, et permet de retourner la machine bout pour bout, sans la détacher du tender, sur une grande plaque tournante, plus facile à loger au delà des trottoirs qu'à l'extrémité des voies.

L'ancien mode toutefois présente un avantage, celui de ne pas nécessiter le stationnement des convois à l'entrée même de la gare. Aussi a-t-il été conservé sur les chemins de faible longueur, où chaque minute devient précieuse, et même sur plusieurs grandes lignes (chemin de Lyon, chemin du Nord). Au chemin du Nord, on recueille les billets à la sortie de la gare ; au chemin de Lyon, on les recueille à la dernière station. Ce dernier mode se prête bien moins à la fraude que le premier. Au chemin de Strasbourg, dans l'origine, les convois directs seuls entraient sous la halle couverte avec la machine, et les billets n'étaient recueillis qu'à la sortie de la gare, ce qui ne présentait aucun inconvénient, parce que ces convois ne contiennent que des voyageurs de première classe.

Suite des généralités. — Il nous reste à parler de la disposition générale de la partie des gares qui se trouve au delà de

l'extrémité des trottoirs et de la halle couverte, nous réservant de revenir plus loin, après avoir traité complétement de l'ensemble des dispositions d'une gare d'arrivée ou de départ, sur la distribution intérieure du bâtiment des salles d'attente, le mérite des différentes espèces de remises, etc., etc.

C'est dans cette seconde partie de la gare, avons-nous dit, que se trouvent toujours les changements de voie, les remises de locomotives, une partie, si ce n'est la totalité, des remises de waggons; les magasins de coke et réservoirs avec grues hydrauliques, et quelquefois des ateliers de réparation plus ou moins vastes et des bâtiments pour le service des marchandises.

Les changements de voie, sur un chemin à deux voies, doivent être placés de manière que les convois qui marchent sur une même voie dans une même direction ne rencontrent jamais la pointe des aiguilles, et que par conséquent ils ne puissent entrer dans le changement de voie qu'à reculons. On s'est écarté cependant assez fréquemment de cette règle, soit qu'on y ait été forcé par la nature du service, soit qu'on y ait attaché peu d'importance, parce que les convois ne doivent marcher dans les gares extrêmes qu'à petite vitesse, et que, par conséquent, ils peuvent changer de voie sans grand danger.

La règle que nous venons de poser ne peut s'appliquer, dans tous les cas, qu'aux chemins à deux voies.

Nous recommandons surtout de faire entrer toujours les convois dans les gares de marchandises à reculons, comme au chemin de Strasbourg, plutôt que directement, comme aux chemins du Nord, de Lyon et de l'Ouest. La manœuvre de ces convois est alors un peu plus difficile, mais le service devient bien moins dangereux [1]. Il était d'autant plus important, au chemin de Strasbourg, de faire entrer ainsi les convois de marchandises, que l'entrée de la gare est masquée du côté de l'arrivée par une courbe et par des bâtiments.

Les voies d'arrivée et de départ doivent toujours être réunies par

[1] Un accident très-grave a eu lieu sur le chemin de fer de l'Ouest, parce qu'un convoi de voyageurs est entré mal à propos dans la gare des marchandises. — Au chemin de fer du Nord, en pareille circonstance, un mécanicien a été tué. — Au chemin de fer de Lyon plusieurs waggons ont été brisés, mais les voyageurs n'ont pas souffert.

un changement de voie. Les voies de remisage doivent aussi communiquer directement ou indirectement avec les voies de départ et d'arrivée par des changements de voie.

On emploie avec avantage, pour diminuer l'étendue et la complication des voies et la longueur des gares, le changement de voie à trois aiguilles, décrit précédemment.

Les voies et bâtiments pour le service des voyageurs, des marchandises, des ateliers et l'alimentation ou le nettoyage des locomotives, doivent former, dans la gare, autant que possible, des groupes tout à fait distincts.

Nous présenterons comme un véritable modèle de simplicité à cet égard la station extrême de Bricklayers, sur le chemin de Douvres (fig. 261).

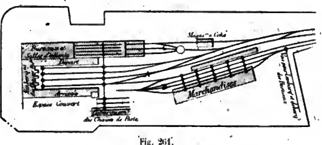


Fig. 261.

Le groupe des voies A est affecté uniquement au service des voyageurs, celui des voies B, au service des marchandises, et enfin celui des voies C, au service de remisage, d'alimentation et de nettoyage de locomotives. Il n'y a pas d'ateliers dans cette gare, les machines à réparer sont conduites aux ateliers de Newcross, à une petite distance de Bricklayers.

La disposition des voies dans la gare de Versailles (rive gauche) (fig. 260) est bonne aussi à imiter dans le cas où le service se fait suivant l'ancien mode.

Les remises de locomotives ainsi que les ateliers, lorsque le choix est libre, doivent être placés de préférence du côté de la voie de départ, moins dangereuse à traverser que celle d'arrivée, parce que les machines s'y montrent moins inopinément que sur la der-

nière. Il convient de les réunir, autant que faire se peut, d'un même côté, afin d'éviter le passage trop fréquent au travers des voies principales.

Au chemin de l'Est, on avait établi dans l'origine une remise de locomotives tout près de la gare des voyageurs et une seconde à la distance d'un kilomètre, dans la gare des marchandises. On a démoli la première pour concentrer le service dans la seconde.

Il importe que les grands réservoirs d'eau pour l'alimentation des locomotives soient en communication avec tous les bâtiments, afin de pouvoir, en cas d'incendie, en utiliser presque instantanément le contenu.

Composition de la partie de la gare consacrée à la grande vitesse considérée dans ses détails.

Bâtiments des voyageurs et annexes. — Nous n'avons jusqu'à présent étudié la composition des gares extrêmes que dans leur ensemble.

Si l'on cherche à se rendre compte de la composition des bâtiments consacrés au service des voyageurs dans une gare extrême, on trouve que ces bâtiments renferment généralement, dans la partie spécialement consacrée au départ :

Un vestibule plus ou moins vaste;

Des bureaux pour la distribution des billets aux voyageurs;

Un bureau d'inscription des bagages et une salle pour le service des bagages au départ;

Un bureau pour l'inscription des marchandises, dites *de messagerie* (marchandises transportées avec les voyageurs par les trains de grande vitesse) et une salle pour les déposer;

Un bureau de correspondance;

Un local pour le télégraphe;

Un local pour le service de la poste;

Une ou plusieurs salles d'attente plus ou moins grandes avec dépendances;

Des salles ou bureaux pour le chef de gare, pour les sous-chefs et pour les gardes, gens de service, etc., etc.;

Un cabinet pour le commissaire de police (en France du moins);

Une lampisterie;

Un local pour préparer les chaufferettes;

Un cabinet pour les effets que les voyageurs ont l'habitude de transporter avec eux dans les waggons, tels que parapluies, manteaux;

Des urinoirs et des latrines.

Du côté de l'arrivée on place habituellement une salle de bagages avec salle d'attente y attenant pour les voyageurs qui attendent leurs bagages;

Un bureau pour les employés de l'octroi;

Une ou plusieurs salles pour la visite des employés de l'octroi ou des douanes;

Un vestibule de sortie pour les personnes qui sortent sans bagages;

Une salle pour le dépôt de marchandises des messageries à l'arrivée et un bureau pour la distribution;

On place indifféremment du côté du départ ou du côté de l'arrivée :

Un bureau pour le médecin;

Un buffet;

Quelquefois aussi un corps de garde;

Un bureau de réclamations des objets perdus et une salle pour les déposer;

Les bureaux de l'administration, y compris ceux de l'ingénieur en chef;

Le logement du directeur de l'exploitation et ceux de certains employés supérieurs, tels que le chef du mouvement, le chef de la gare, etc., etc.;

Un logement pour le chef des employés de la douane;

Parfois, mais très-rarement, le bureau du chef de gare est placé du côté de l'arrivée.

Bureau pour la distribution des billets. — Lorsque la gare est en déblai ou au niveau du sol, comme celle du chemin d'Orléans à Paris, et celle du chemin de fer de Londres à Birmingham, les bureaux de distribution des billets et les salles d'attente sont au

rez-de-chaussée. Si, au contraire, la gare est en remblai, comme aux chemins de l'Ouest, de Saint-Germain, de Versailles (rive droite) et de Rouen, gares de Paris, ou au Great-Western railway, gare de Bristol, les bureaux sont ordinairement au rez-de-chaussée, et les salles d'attente au premier. Au chemin de Nimes à Montpellier cependant, les bureaux et les salles d'attente de la gare de Nimes, bien que la gare soit en remblai, sont au rez-de-chaussée.

Les bureaux, étant au même niveau que les salles d'attente, sont ordinairement placés au centre, et les salles d'attente, de bagages et de visite sur le côté à droite et à gauche des bureaux : chemins d'Orléans, de l'Est, du Nord (gares de Paris), chemin de Londres à Birmingham (gares de Londres à Birmingham), chemin de Londres à Derby (gare de Derby).

Aux chemins de Versailles (rive gauche) (gare de Versailles) et au chemin de Londres à Douvres (gare de Bricklayers), les bureaux ont été placés à l'extrémité du bâtiment des salles d'attente, contre le trottoir de départ.

Nous avons déjà signalé les avantages et les inconvénients de cette disposition.

En Angleterre, non-seulement les voyageurs des différentes classes prennent leurs billets à des bureaux distincts, mais encore ils entrent quelquefois par des portes différentes dans le vestibule des bureaux, et, si les salles d'attente se trouvent à un étage supérieur, ils y montent par des escaliers différents; ils ne se rencontrent plus alors qu'après leur sortie des stations à l'arrivée.

En France, où les habitudes sont moins aristocratiques, les billets pour les places de première, seconde et troisième classe se distribuent souvent dans un seul et même bureau, et, lorsque les salles ne sont pas de plain-pied avec le bureau, le même escalier sert pour toutes les classes. Ce n'est que dans les salles d'attente que la division s'opère.

Sur plusieurs chemins anglais, les employés qui distribuent les billets ne sont séparés du public que par une table arrondie dont les extrémités s'appuient contre le mur du bureau, ou par une table droite qui s'étend sur une partie plus ou moins grande de la longueur de la pièce.

Sur les chemins français, ils sont toujours renfermés dans une espèce de cage vitrée ou grillée, adossée ordinairement au mur postérieur.

Sur les grandes lignes, il est nécessaire que l'on puisse distribuer les billets, les jours de fête, par deux ou trois guichets en même temps.

Bureau pour l'inscription des bagages et salles de dépôt. — Le bureau d'inscription des bagages et la salle de dépôt des bagages au départ doivent être voisins du bureau des billets. Au chemin de fer de Bâle à Strasbourg, l'éloignement du bureau des bagages de celui des billets, dans les anciennes stations, nuisait beaucoup au service. On a aussi recommandé de placer autant que possible le bureau de réception des bagages entre le bureau de distribution des billets et les salles d'attente, afin que les voyageurs, après avoir pris les billets, ne soient pas obligés de rétrograder pour se rendre au bureau des bagages.

Cette disposition présente cependant un grave inconvénient : les hommes de peine portant les bagages au bureau gênent alors la circulation des voyageurs.

Pour faciliter la translation des bagages de la salle où ils sont déposés, ces salles doivent être le plus voisines possible de la tête du convoi où se place le waggon à bagages, et, par conséquent, de l'extrémité des trottoirs opposée à celle de la gare. Cette condition se trouve plus facilement remplie, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, lorsque les bâtiments des salles d'attente sont placés sur le côté que lorsqu'ils sont en tête de la gare.

Par une raison semblable, la salle pour le dépôt et la visite des bagages à l'arrivée, placée dans un bâtiment construit à côté du trottoir d'arrivée, doit être au contraire voisine de l'extrémité antérieure de la gare. Une barrière établie en travers du trottoir, entre le waggon de bagages et les waggons à voyageurs, permet de transporter les bagages du waggon dans la salle sans gêner les voyageurs arrivants.

La salle de visite est ordinairement divisée longitudinalement en deux parties par deux tables parallèles qui s'étendent d'une extrémité à l'autre. Ces tables sont distantes l'une de l'autre de 0m,75 à

1 mètre ; les facteurs déposent les colis sur celle qui est placée du côté du trottoir d'arrivée. Au moment de la visite on fait glisser les colis sur la seconde table devant le voyageur et l'employé de l'octroi.

La salle d'attente consacrée aux voyageurs qui attendent leurs bagages doit être contiguë à la salle de visite.

Bureaux de la messagerie. — Les bureaux pour l'inscription des marchandises dites messagerie, et les salles pour les déposer au départ ou à l'arrivée, sont ordinairement tout à fait distincts des bureaux des bagages. Ils sont placés à l'extrémité postérieure des gares.

Bureau de réclamation. — Le bureau de réclamation des objets perdus et la salle de dépôt de ces objets sont placés en un point quelconque de la gare facilement accessible au public.

Salles d'attente. — Les salles d'attente se subdivisent en :

Salles d'attente de première, deuxième et troisième classe.

Boudoir pour les dames avec accessoires.

Quelquefois on place les voyageurs des stations dans une salle ou dans un compartiment distinct, afin de pouvoir les faire monter plus facilement dans des voitures spéciales (chemin de Versailles).

Au chemin de Londres à Birmingham, et au chemin de Bristol, on a réservé des salles spéciales pour la reine et pour sa suite, et, au chemin du Nord, pour la famille impériale.

En Angleterre, les salles d'attente de première classe sont toujours séparées de celles de seconde et de troisième classe par des murs ou cloisons. Les voyageurs de seconde et troisième classe sont quelquefois confondus les uns avec les autres dans une même salle, quelquefois séparés.

En France, sur quelques chemins (chemin de Versailles), tous les voyageurs, réunis dans une salle unique, très-vaste, ne sont divisés en classes différentes que par de légères barrières.

Sur d'autres lignes, comme aux chemins de Lyon et de l'Est, ces barrières sont remplacées par d'épaisses cloisons de $1^{m},50$ à 2^{m} de hauteur, et enfin, sur certains chemins (chemin d'Orléans), les salles sont entièrement distinctes, comme en Angleterre.

En Angleterre, les salles d'attente sont très-petites, et souvent pourraient à peine contenir les voyageurs d'un convoi. En revanche, les trottoirs de la station sont fort larges et toujours couverts. Lorsque les voyageurs ne sont pas en très-grand nombre, il leur est loisible de s'y promener et d'examiner le chemin jusqu'au moment du départ, ou d'entrer dans les voitures dont les portières sont ouvertes. Lorsqu'au contraire il y a foule, on les invite à monter dans les voitures dix minutes auparavant.

Souvent on limite par des barrières l'espace dans lequel les voyageurs peuvent se promener sur le trottoir, et on les empêche ainsi de gêner les employés dans leurs fonctions.

En France, on les enferme dans des salles d'attente dont les dimensions sont calculées de manière qu'elles puissent contenir les voyageurs de deux convois les plus chargés que l'on conduise, et tous les voyageurs d'une même classe sortent à la fois de ces salles au moment du départ.

Des deux modes adoptés pour l'embarquement des voyageurs, le mode anglais nous paraît incontestablement préférable.

Ces magnifiques trottoirs sur lesquels se promène paisiblement la foule des voyageurs, ces portes toujours ouvertes au public, ces voies nombreuses avec leurs locomotives qui s'arrêtent comme par enchantement dans les gares lorsqu'elles semblent entraînées par une force indomptable, c'est là vraiment un grand et beau spectacle qui donne une juste idée de la puissance et du libéralisme des compagnies qui ont doté leur pays de ces merveilleux instruments de travail. Les voyageurs qui pénètrent librement dans la gare à toute heure se familiarisent avec les machines en les étudiant. Ils cessent, en les admirant, de les craindre, et c'est ainsi que les chemins de fer deviennent populaires.

En emprisonnant au contraire les voyageurs qui attendent les convois dans des salles où on ne laisse ordinairement pénétrer le jour que par les combles, les compagnies paraissent douter de leur force et n'avoir de confiance que dans les murs les plus élevés pour faire respecter leur propriété. Elles semblent vouloir cacher à tous les regards ce moteur, qui n'est réellement redoutable que pour ceux qui ne le connaissent pas.

Dans le premier cas, les premiers arrivés occupent les meilleures places des waggons; dans le second, ces places appartiennent aux plus lestes ou aux plus forts.

Nous conseillons donc l'adoption du mode anglais sur nos chemins de fer, et nous devons ajouter que, sur le chemin de Versailles, nous avons vu, certains jours de grandes eaux, la foule, qui, contenue dans les salles d'attente, était très-turbulente, devenir parfaitement tranquille dès qu'on lui ouvrait les portes, et attendre sans impatience des convois en retard. Le même fait s'est reproduit lors du tir fédéral à Bâle.

Il est très-important que les salles d'attente soient bien aérées, car c'est en été surtout qu'elles se remplissent.

Aux chemins de Saint-Germain et de Versailles (rive droite), on a cru devoir placer les fenêtres à une grande hauteur pour que le public impatienté d'attendre l'heure du départ ne les brisât point.

Les salles d'attente ainsi éclairées deviennent fort tristes. Nous pensons qu'il vaut mieux leur donner plus de jour, au risque de voir quelquefois les vitres brisées par la foule.

On peut d'ailleurs ne placer des fenêtres que du côté opposé à celui du chemin. C'est ce qu'on a fait dans la gare du chemin de Versailles (rive gauche); ces fenêtres et quelques portes entre les fenêtres s'ouvrent sur un jardin qui, en cas de beau temps, devient une succursale des salles d'attente.

On peut encore aérer les salles d'attente artificiellement.

Enfin il est essentiel, pour ne pas gêner la circulation, de n'établir du côté du chemin que des portes roulantes rentrant dans l'épaisseur des murs.

Bureaux divers. — Les bureaux pour le chef de gare, les surveillants et gens de service, sont indifféremment établis dans le bâtiment des salles d'attente, comme aux chemins de Lyon et de Strasbourg (gare de Paris), ou dans des bâtiments spéciaux, comme au chemin de Versailles (rive gauche), gare de Versailles.

Le bureau du chef de gare doit toujours se trouver dans l'intérieur même de la gare, à proximité des trottoirs. Lorsque le bâtiment des salles d'attente est sur le côté, on peut le placer dans

ce bâtiment même ; mais, quand il est en tête, il faut lui affecter hors de ce bâtiment un local spécial plus voisin du trottoir de départ.

Le cabinet du médecin doit être d'un facile accès pour les employés.

Le commissaire de surveillance est, sur quelques chemins, celui d'Orléans, par exemple, logé dans un bâtiment spécial ; sur d'autres lignes, au chemin de Strasbourg, son bureau se trouve dans le bâtiment des salles d'attente, près de celui du chef de gare.

On a trop négligé sur nos chemins de fer l'établissement des lieux d'aisances et des urinoirs. Les chemins de fer anglais offrent sous ce rapport d'excellents modèles.

Il importe particulièrement de les bien ventiler et d'y amener une quantité d'eau suffisante.

C'est surtout dans les cours d'arrivée qu'il importe de donner aux urinoirs de grandes dimensions.

Service des bagages et de la messagerie. — Le service des bagages et de la messagerie à grande vitesse ont, aussi bien que le service proprement dit des voyageurs, une grande importance. — Nous nous sommes borné jusqu'à présent à indiquer l'emplacement des salles de dépôt au départ et à l'arrivée, et du bureau d'inscription. — La note suivante sur ce service, qui, dans la première édition de ce Traité, a été insérée aux documents, et dont l'importance est telle, que nous croyons devoir la placer dans le corps de l'ouvrage, est empruntée à un rapport de M. Eugène Flachat, à la Compagnie de l'Ouest. Elle entre dans des détails d'un grand intérêt beaucoup plus circonstanciés.

Le service du transport des colis comprend les divisions suivantes :

1° Bagages des voyageurs.
2° Articles de messagerie.
3° Douane.
4° Marchandises à grande vitesse.

Chacune de ces séries se subdivise en service de *départ* et service d'*arrivée*.

Bagages au départ. — Chacune des cinq gares parisiennes place

le bureau de départ dans des positions différentes. Sur Lyon et Orléans, il est situé parallèlement à la voie correspondante en un point de la longueur de la gare. A l'Est, il est disposé à l'extrémité de la gare et perpendiculairement aux voies. Au Nord, il est dans l'angle inférieur de la gare. Ces deux dernières dispositions ont l'inconvénient de faire parcourir aux bagages un grand espace entre leur lieu de livraison à la Compagnie et leur mise en place dans le waggon; tandis que sur les deux autres chemins les colis n'ont pour ainsi dire que le quai à traverser.

La salle de Saint-Germain est infiniment trop petite; elle ne servira plus que pour les trains de banlieue, lorsque seront construites une autre salle et une autre voie spécialement destinées à la grande ligne.

La salle du Nord, resserrée dans un espace limité, offre un grand développement de tables au moyen des sinuosités qu'on leur fait subir, mais est loin de présenter la simplicité et la commodité des salles de Lyon et Orléans.

Sur ces deux lignes la salle, s'allongeant parallèlement à la voie, renferme simplement une table coupée de distance en distance par des bureaux. Un bureau unique présenterait, quelques minutes avant le départ, un encombrement préjudiciable au rapide écoulement des colis. Lyon et Orléans divisent leur salle par section ou par embranchement. Orléans, par exemple, emploie :

1re partie de la table pour les bagages en destination d'Orléans.
2e — — Bordeaux.
3e — — Nantes.
4e — — Centre.

Chaque portion de table ayant sur la gare des sorties directes et correspondantes, le classement et la manutention se font rapidement et sans désordre.

Orléans et Lyon ont ainsi quatre bureaux d'enregistrement des bagages, l'Est deux; le Nord en a trois, mais disposés moins commodément que sur Orléans, à cause de la concentration des voyageurs sur un même point.

Le Nord comprend de plus une salle de consigne fermée, avec un employé spécial, pour les bagages déposés longtemps avant le dé-

part des trains, ou que, pour un cas fortuit, le voyageur préfère ne pas emporter : régulièrement ces bagages ne sont reçus et rendus que contre un reçu à souche.

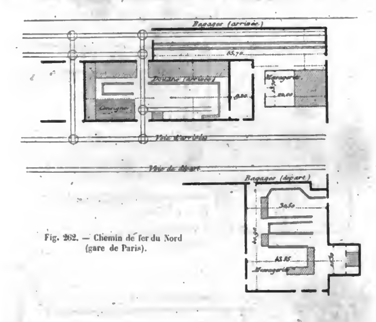


Fig. 262. — Chemin de fer du Nord (gare de Paris).

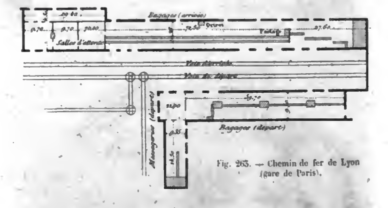
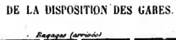


Fig. 263. — Chemin de fer de Lyon (gare de Paris).



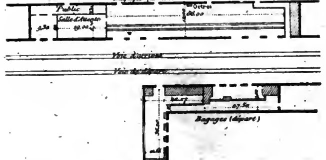


Fig. 264. — Chemin de fer d'Orléans (gare de Paris).

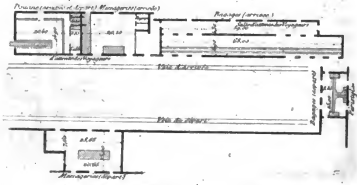


Fig. 265. — Chemin de fer de l'Est (gare de Paris).

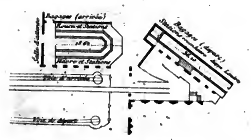


Fig. 266. — Chemin de fer de l'Ouest (gare de Paris).

Bagages à l'arrivée. — Les salles d'arrivée placées parallèlement à la voie correspondante dans la longueur de la gare affectent toutes la même disposition générale : deux rangées de tables occupant toute la longueur de la salle. Les bagages, pénétrant dans cette salle par un grand nombre de portes s'ouvrant sur le quai, sont classés et placés par station sur la première table, et de là transportés sur la seconde, peu distante de la précédente, à mesure que les voyageurs présentent leurs bulletins aux agents de la Compagnie installés dans l'espace qui sépare ces deux tables : c'est sur cette seconde table, habituellement plus basse que la première, que se fait la visite de l'octroi, et c'est à elle que finit la responsabilité de la Compagnie. — Le bureau de perception de l'octroi est situé dans cette salle sur Orléans et Lyon, et en dehors au Nord et à l'Est.

Pour faire arriver le voyageur dans la salle où il doit réclamer ses colis, il y a deux dispositions distinctes : 1° le voyageur est amené, au sortir du vaggon, directement dans la salle des bagages (Nord) et ne se trouve alors séparé que par la deuxième table des facteurs de l'administration; 2° le voyageur se rend d'abord dans une salle d'attente (Lyon, Orléans, Est), où il attend que les colis soient classés sur la première table, sans pouvoir, par son impatience et ses réclamations, gêner le service. — Cette pièce d'attente est placée dans le prolongement de la salle des bagages sur Lyon et Orléans; sur l'Est, elle est disposée parallèlement à cette dernière, et on y trouve l'avantage que le voyageur, séparé de la salle de distribution par une simple barre de bois mobile, peut circuler de manière à chercher d'avance le point où il doit se présenter, et cette disposition empêche la confusion de personnes circulant en tous sens à la recherche de leurs bagages au moment de la distribution.

Lyon et Orléans, pour rendre le service encore plus rapide, ne laissent pénétrer dans les salles d'attente que les personnes munies de leur bulletin : le reste du convoi s'écoule directement dans la cour par un passage attenant, où un bureau d'octroi permet l'acquittement des droits aux personnes n'ayant que des paquets. Dans cette salle d'attente et séparé seulement par une cloison à claire-

voie ou grillagée, est un couloir destiné au public attendant les voyageurs.

Messagerie au départ. — La salle de départ est attenante à celle des bagages, sauf à l'Est, où ces deux salles sont assez éloignées. Elle comprend un bureau unique (Lyon, Nord, Est), ou une série de bureaux (Orléans) se rapportant aux embranchements et rendant les mêmes services que la division identique faite pour les bagages. Lyon, seul, emploie une table; à l'Est il y a quelques tablettes contre certaines parties du mur, et des séparations verticales divisant les colis d'après leur destination.

Messagerie à l'arrivée. — La salle d'arrivée est attenante (Lyon, Orléans, Nord) à celle des bagages, ou peu distante (Est). Le public et les agents de la Compagnie ne sont pas séparés pour la manutention des colis : l'espace leur est commun. Lyon seul fait exception; des tables disposées en escalier pour que la circulation dans la salle ne soit coupée en aucun sens, séparent le public et l'administration de la même manière que dans la salle des bagages. L'Est comprend, de plus que les autres lignes, une consigne pour les colis visités par l'octroi et une seconde pour ceux qui n'ont pas encore subi de visite.

En général, les salles de messageries présentent de nombreuses issues sur la cour extérieure.

Douanes. — Lyon et Orléans n'ont pas de bureaux de douane.

L'Est concentre dans le même local l'arrivée et le départ. Il y a salle d'attente pour les voyageurs, bureau pour le payement des droits, table pour les colis et une fosse pour deux vaggons pénétrant dans l'intérieur de la salle et dont la voie s'embranche sur des voies de garage.

Le Nord fait ce service sur une plus grande échelle : il fait la distinction entre le départ et l'arrivée. Le départ se fait sous des halles à quai disposées comme pour les marchandises ordinaires.

L'arrivée comprend une vaste salle, avec pièce d'attente, bureaux, tables. Une voie, s'embranchant sur celle d'arrivée au moyen d'une plaque tournante, traverse la salle de la douane, permet en se bifurquant de laisser à demeure quatre vaggons plombés dans l'intérieur, et ressort sur des voies de garage par le bout op-

posé. Un corps de garde de douaniers, une consigne pour les colis non réclamés, et une seconde solidement fermée pour les articles de valeur, complètent cette installation.

Au contraire des salles de bagages, où le plus grand espace, ou au moins un espace égal est réservé au public, ici la part des voyageurs est extrêmement réduite du moment qu'ils pénètrent dans la salle des douanes : cette condition est commandée pour la plus grande facilité du déchargement des waggons.

Marchandises à grande vitesse. — Ce service se fait sous des halles en dehors de la surface couverte de la gare. Lyon a fait construire un hangar de 100 mètres de long sur 14 mètres de large, avec voie d'un côté du quai et pavage de l'autre pour le camionnage, disposition également adoptée sur le Nord. C'est au reste un service qui ressort des conditions dans lesquelles se trouvent les trois services précédents, n'exigeant ni la même célérité dans le même temps, ni les mêmes précautions à cause du volume des colis.

Il faut remarquer dans ces chiffres que Lyon et Orléans n'ont pas de douanes, qu'à l'Est le même espace sert pour le départ et l'arrivée des colis plombés, et que la salle des bagages à l'arrivée est totalement insuffisante.

Bureaux de l'administration. — Les bureaux de l'administration centrale sont généralement placés à l'une des extrémités du chemin. Il en est ainsi pour tous les chemins qui aboutissent à Paris.

Sur le chemin de Strasbourg à Bâle, ils ont été longtemps placés à Mulhouse, à une certaine distance des extrémités, mais on les a depuis transférés à Strasbourg.

Quand la ligne est très-courte, comme aux chemins de Versailles et de Saint-Germain, la Compagnie n'a de bureaux pour l'administration qu'à l'une des extrémités; quand elle est longue, comme celle de Strasbourg, on établit quelquefois des bureaux auxiliaires à l'extrémité où ne se trouvent pas ceux de l'administration centrale.

Les bureaux de l'administration sont ordinairement situés dans le même bâtiment que les salles d'attente et de bagages, comme aux chemins de Londres à Birmingham, de l'Est, du Nord; quelquefois

cependant ils sont dans un bâtiment distinct, comme aux chemins d'Orléans, de Rouen, de Lyon. Dans ce dernier cas, il est essentiel que le bâtiment de l'administration soit voisin de la gare, et qu'on puisse communiquer facilement de l'un à l'autre.

Si les bureaux de l'administration font partie du bâtiment des salles d'attente, ils se trouvent assez ordinairement à un étage supérieur ou inférieur à celui de ces salles, suivant que le chemin est de niveau, en déblai, ou en remblai.

Le service de l'administration doit être entièrement distinct de celui de l'exploitation; il importe donc que l'on parvienne dans le local qui lui est affecté par des escaliers spéciaux, et jamais par ceux des salles d'attente.

Les bureaux de l'administration centrale renferment deux départements bien distincts :

Le département de l'administration et de la comptabilité générale;

Le département des constructions et de l'exploitation.

Le département de la comptabilité doit contenir :

Des bureaux composés chacun d'un salon et d'un cabinet avec antichambre pour les directeurs;

Un local spécial pour le dépôt des titres;

Une caisse;

Des bureaux spéciaux avec antichambre pour le secrétaire général et le chef du contentieux;

Des bureaux pour les teneurs de livres, agents du contentieux et autres commis, en nombre plus ou moins considérable, suivant l'importance de la ligne;

Une salle pour les réunions du conseil d'administration;

Un local pour les archives de la comptabilité.

Le département de l'exploitation se compose :

De bureaux avec antichambre pour le directeur de l'exploitation, l'ingénieur en chef de la voie, l'ingénieur en chef du matériel, le chef du service commercial;

De bureaux pour les employés du service central, du mouvement, du contrôle, du service commercial, des réclamations, des travaux et du matériel;

De bureaux pour les dessinateurs;

De locaux pour les archives.

Il est essentiel d'établir des lieux d'aisances spéciaux pour les bureaux de chaque département.

Les différents bureaux, ainsi que la caisse, doivent, autant que possible, avoir une issue sur un corridor.

Il est très-important que les communications entre ces bureaux soient le plus faciles possible. Au chemin de l'Est, où ils sont répartis dans des bâtiments différents, séparés par de longues galeries, le service est difficile.

Pour obvier jusqu'à un certain point à cet inconvénient et agrandir l'espace qu'ils occupent, on en a construit de nouveaux le long des galeries, et l'on est sur le point d'établir une passerelle suspendue entre les deux pavillons nord-ouest et nord-est, afin d'abréger le parcours entre ces deux points.

Les plans ou dessins ne pouvant être convenablement exécutés dans des salles mal éclairées, les bureaux de l'ingénieur doivent recevoir le plus de lumière possible.

Nous regardons aussi comme essentiel que les salles pour les archives soient très-vastes, afin que l'on puisse classer avec un ordre parfait les nombreux documents de toute espèce dont les chefs de l'exploitation d'un chemin de fer doivent soigneusement faire collection.

Le désordre dans les archives a pour conséquence le désordre dans l'exploitation, et, par suite, des pertes considérables pour une compagnie.

Le salon du directeur ou la salle de réunion du comité de direction sert souvent de salle de réunion pour le conseil d'administration, mais il ne peut être assez vaste pour y réunir l'assemblée générale d'une société anonyme. Ces assemblées ont lieu ordinairement dans un local particulier, au centre de la ville.

Il faut établir un escalier de service, afin que les administrateurs et chefs de service puissent arriver à leurs cabinets et en sortir sans être obsédés par les solliciteurs.

Trottoirs. — Les trottoirs sont en bitume, en dalles ou planchéiés.

Nous avons déjà insisté sur les avantages que l'on trouve à leur donner une grande largeur.

Leur hauteur était calculée, anciennement, de manière que leur niveau se trouvât de quelques centimètres seulement au-dessous du plancher de la voiture, afin que les voyageurs y pussent entrer sans se servir des marchepieds et sans se baisser outre mesure pour franchir la portière. *On trouve aujourd'hui plus convenable d'abaisser les trottoirs au niveau des marchepieds*. Leur hauteur se trouve alors réduite à 35 centimètres. Cette modification présente, pour le service de la gare, ce grand avantage que l'on peut établir, au travers du trottoir, des voies transversales en lui donnant simplement une légère courbure à l'emplacement de ces voies, sans qu'il soit nécessaire, comme avec les trottoirs de 90 centimètres, d'y pratiquer une large ouverture qu'il faut recouvrir d'un pont-levis. Les mouvements des employés dans l'intérieur des gares en deviennent aussi beaucoup plus faciles.

Fig. 267. — Halle du Great-Northern.

Quant à la longueur des trottoirs, elle doit être égale au moins à celle des plus longs convois ordinaires, et il importe de ne placer au dehors près de leur extrémité, et sur un certain espace, aucun appareil, aucun obstacle quel qu'il soit

qui puisse empêcher les voyageurs de monter dans les voitures ou d'en descendre, lorsqu'aux jours d'affluence extraordinaire on est obligé de composer les convois d'un nombre de waggons tel, qu'ils deviennent plus longs que les trottoirs.

Observation sur la manière d'éclairer la halle couverte. — La lanterne placée sur le milieu du faîtage éclaire parfaitement les voies, mais elle laisse dans l'obscurité ou à peu près la salle d'attente et les bureaux latéraux. — Il vaut mieux, pour donner du jour à la halle, placer des chassis à tabatière contre le bâtiment. La fig. 267 représente la magnifique halle du Great-Northern.

Sol sous la halle. — La portion de la gare occupée par les voies entre les trottoirs sous la halle couverte ne doit pas être ballastée comme les parties extérieures. La poussière du ballast, tombant sur les voitures, en rendrait le nettoyage plus difficile. Le sol entre les voies est alors consolidé au moyen d'un briquetage, d'un pavé en pierre ou d'un pavé en bois.

Au chemin de Strasbourg, le pavage en bois, préparé dans les ateliers, n'est pas revenu à plus de 4 francs le mètre carré.

Bâtiment type. — Avant de commencer la description des remises et pour terminer l'article relatif au bâtiment des voyageurs, nous indiquerons, comme type d'une disposition à peu près irréprochable, le bâtiment des voyageurs du chemin de Lyon à Paris (fig. 268), et nous rappellerons les nombreux défauts de celui du chemin de l'Est.

Au chemin de Lyon, les abords du chemin, au départ et à l'arrivée, ne laissent rien à désirer : le vestibule, au départ, est d'une grande beauté ; les salles d'attente et les salles de bagages, au départ et à l'arrivée, sont bien placées et très-spacieuses, les trottoirs ont les dimensions convenables, les voies enfin sont suffisantes pour le nombre et pour la longueur. Au chemin de l'Est, la salle des bagages, au départ, est trop éloignée de la tête des convois et elle est beaucoup trop petite. Celle à l'arrivée est beaucoup mieux placée, mais elle n'est pas assez grande. Les voies sont trop peu nombreuses et trop courtes, les bureaux de l'administration sont trop éloignés les uns des autres, et la cour latérale du côté du départ est complétement inutile.

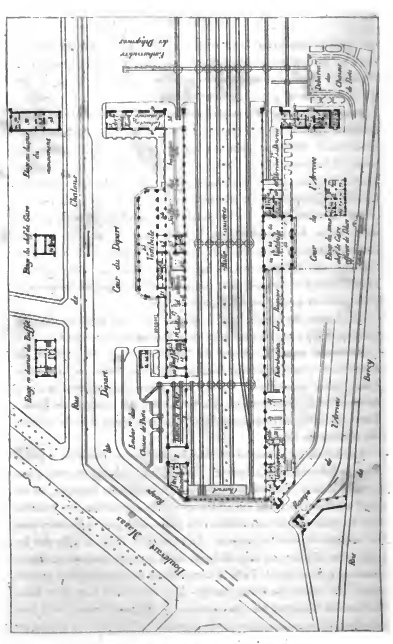


Fig. 268. — Gare du chemin de fer de Paris à Lyon, à Paris.

CHEMIN DE FER DE PARIS A LYON

LÉGENDE :

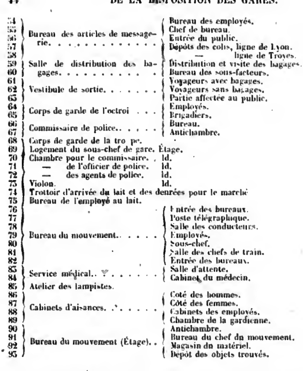
Côté de l'arrivée.

1	Escalier de service pour les caves.	
2	Petit entretien.	Forge et atelier.
3		Magasin des graisses.
4		Magasin des pièces de rechange.
5		Bureau.
6	(Étage).	Atelier des tapissiers.
7	(Id.).	Magasin.
8	Magasin du matériel du mouvement.	
9	Remise des trucks.	
10	Corps de garde des équipes.	Corps de garde.
11	(Étage).	Dortoir des hommes d'équipe.
12	Buffet.	Salle du café-restaurant.
13		Buvette.
14	(Étage).	Laboratoire.
15		Dépendances et logements.
16	Salle d'attente.	3e classe, station au delà de Montereau.
17		— de Paris à Montereau.
18		2e classe — au delà de Montereau.
19		— — de Paris à Montereau.
20		1re classe — —
21	Passage conduisant aux correspondances et buffet.	
22	Bureau de distribution des billets.	
23	Vestibule du départ.	
24	Passage aux salles de bagages.	
25	Passage aux salles d'attente.	
26	Bureau du chef de gare.	
27	Passage pour le service.	
28	Bouilleurs pour les chauffeurs.	
29	Étage.	Bureau du chef de gare.
30		Antichambre.
31	Salle des bagages.	Réception et passage des bagages.
32		Bureaux des receveurs de la ligne de Lyon à Troyes.
33		Id.
34	Bureau des articles de messagerie.	Dépôt des colis.
35		Bureau des employés.
36		Réception des articles.
37		Bureau du factage.
38		Chargement des colis.
39	Cabinets d'aisances.	Côté des hommes.
40		Côté des femmes.
41		Cabinet des hommes d'équipe.
42		Chambre de la gardienne.
43		Couloir pour les cabinets des femmes.
44	Bureau des correspondances.	

Nota. — Il existe des caves sous toute la surface des salles d'attente et de bagages, dans lesquelles sont placés des calorifères.

Côté du départ.

45	Passage conduisant à l'administration à construire ultérieurement.
46	Magasin des litiges.
47	Consigne de la ligne de Lyon.
48	— de la ligne de Troyes.
49	Passage de service.
50	Articles bureau restant de la ligne de Lyon.
51	Dépôt de factage et de la messagerie de Troyes.
52	Bureaux de factage et de la messagerie de Troyes.
53	Passage.



54	Bureau des articles de messagerie.	Bureau des employés.
55		Chef de bureau.
56		Entrée du public.
57		Dépôts des colis, ligne de Lyon.
58		— ligne de Troyes.
59	Salle de distribution des bagages.	Distribution et visite des bagages.
60		Bureau des sous-facteurs.
61	Vestibule de sortie.	Voyageurs avec bagages.
62		Voyageurs sans bagages.
63		Partie affectée au public.
64	Corps de garde de l'octroi	Employés.
65		Brigadiers.
66	Commissaire de police.	Bureau.
67		Antichambre.
68	Corps de garde de la troupe.	
69	Logement du sous-chef de gare.	Étage.
70	Chambre pour le commissaire.	Id.
71	— de l'officier de police.	Id.
72	— des agents de police.	Id.
73	Violon.	Id.
74	Trottoir d'arrivée du lait et des denrées pour le marché	
75	Bureau de l'employé au lait.	
76	Bureau du mouvement.	Entrée des bureaux.
77		Poste télégraphique.
78		Salle des conducteurs.
79		Employés.
80		Sous-chef.
81		Salle des chefs de train.
82		Entrée des bureaux.
83	Service médical.	Salle d'attente.
84		Cabinet du médecin.
85	Atelier des lampistes.	
86	Cabinets d'aisances.	Coté des hommes.
87		Côté des femmes.
88		Cabinets des employés.
89		Chambre de la gardienne.
90	Bureau du mouvement (Étage).	Antichambre.
91		Bureau du chef du mouvement.
92		Magasin du matériel.
93		Dépôt des objets trouvés.

En donnant au pavillon d'avant de plus grandes dimensions, afin de pouvoir supprimer ceux d'arrivée, on aurait pu établir, comme au chemin du Nord, en dehors de la halle couverte, des voies latérales beaucoup plus longues que les voies posées depuis peu de temps. Ces voies eussent été fort utiles. On a trop sacrifié, sur ce chemin, l'utile à la décoration architectonique.

PARTIE CONSACRÉE AU SERVICE DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION.

Composition et disposition des remises de voitures. — Les remises sont de deux espèces : celles pour les voitures et celles pour les locomotives.

Les premières consistent assez souvent en de simples hangars, qui contiennent quelquefois des ateliers pour l'entretien de la menuiserie, de la sellerie et de la peinture.

Les parties de ces remises consacrées à la peinture des waggons

doivent être bien aérées et suffisamment éclairées, bien closes, plafonnées et chauffées en hiver.

Les remises de waggons sont quelquefois à deux étages. C'est alors au second étage que se trouve l'atelier des peintres.

Les voitures sont élevées à l'étage supérieur au moyen de machines. Les waggons, dans les remises, passent d'une voie sur une autre, tantôt au moyen de plaques tournantes, tantôt au moyen de chariots de service.

L'usage des chariots de service est beaucoup plus économique que celui des plaques tournantes, aussi leur donne-t-on généralement la préférence[1].

Composition et disposition des remises de locomotives. — Les remises de locomotives, servant souvent d'ateliers pour les petites réparations, doivent être construites avec plus de soin que les remises de waggons.

Aujourd'hui, sur les nouvelles lignes, on se sert de remises polygonales ou rotondes, de demi-rotondes, de remises en fer à cheval, de remises rectangulaires avec de grandes plaques établies au dehors, et enfin de remises rectangulaires avec un chariot au lieu de plaques pour la manœuvre des locomotives.

Anciennement on employait assez généralement des remises rectangulaires, où la manœuvre se faisait sur de petites plaques à l'intérieur ou à l'extérieur. Ces différentes espèces de remises ont été décrites dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*. Nous croyons inutile d'en reproduire la disposition, maintenant abandonnée.

Dans les remises polygonales (fig. 269 et 270), toutes les voies convergent au centre de la remise. Une plaque tournante placée au milieu sert à la manœuvre. On comprend aisément comment, au moyen de cette plaque, on peut faire passer à volonté une machine sur l'une quelconque des voies de remisage. Dans les anciennes remises de ce genre établies aux



Fig. 269. — Remise polygonale (coupe et élévation).

[1] Voir au volume Ier la *description des chariots*.

chemins de Versailles (rive gauche) et de Montpellier à Nîmes, la plaque, étant de petit diamètre, ne pouvait porter que la locomotive seule, tandis qu'aujourd'hui on lui a substitué une plaque de grand diamètre qui porte en même temps la locomotive et le tender.



Fig. 270 — Remise polygonale (coupe).

Le nombre des voies de remisage doit être en rapport avec le diamètre de la plaque, et c'est là un des inconvénients des remises polygonales : ainsi ce nombre, dans les anciennes remises polygonales, avec de petites plaques, était de 12. Mais, comme il faut laisser au moins une de ces voies entièrement libre, afin qu'elle serve de passage aux locomotives pour entrer dans la remise ou en sortir, la remise ne renfermait que 11 machines. Dans les nouvelles remises avec plaques de grand diamètre, le nombre des voies est de 16, et, comme on laisse deux voies libres, l'une pour l'entrée des locomotives, l'autre pour la sortie, ou l'une pour l'entrée et la sortie d'un côté, et l'autre pour l'entrée et la sortie du côté opposé, le nombre des locomotives remisées n'est que de 14.

La première remise polygonale a été construite au chemin de Londres à Birmingham, il y a quatorze ou quinze ans. Elle était découverte dans le milieu ; on l'a entièrement couverte depuis.

La remise polygonale du chemin d'Orléans à Paris a été construite sur un modèle semblable. On a également fini par la couvrir complètement.

La première remise polygonale entièrement couverte a été, si nous ne nous trompons, établie au chemin de fer de Versailles (rive gauche), à Paris.

Depuis lors on a couvert les remises polygonales de tous les nouveaux chemins. Les difficultés qu'on rencontrait pour y faire travailler les ouvriers l'hiver et les dommages qu'y éprouvaient les machines ont conduit à abandonner entièrement les remises découvertes.

Les charpentes de ces remises sont en bois ou en fer. Les charpentes en bois sont les plus économiques ; mais elles n'ont pas, comme celles en fer, l'avantage d'être incombustibles. On se préoccupe peu, toutefois, des risques d'incendie quand on considère :

1° Que les ouvriers circulent dans ces remises jour et nuit ;

2° Qu'un mécanicien ou un chauffeur se trouve toujours sur une machine qu'on allume ou qu'on éteint ;

3° Que les remises sont généralement assez élevées pour que les étincelles atteignent rarement le sommet ;

4° Qu'elles sont ordinairement voisines des grands réservoirs et traversées en tous sens par des conduites d'eau.

Aux chemins de fer de l'Est, les charpentes de toutes les rotondes sont en bois, portées sur des colonnes en fonte ou en bois (fig. 269). Au chemin de fer des Ardennes, elles sont en fer. — La figure 271 représente une des remises de ce chemin.

La couverture se fait en zinc ou en ardoises. Les couvertures métalliques sont promptement attaquées par les vapeurs sulfureuses provenant des locomotives, vapeurs qui, mélangées à la vapeur d'eau condensée, forment de l'acide sulfurique.

Les rotondes sont éclairées par des baies vitrées ouvertes dans les murs, par une lanterne qui, placée au milieu du comble, donne en même temps issue à la fumée, et quelquefois par des châssis à tabatières (rotonde de Derby).

La figure 272 représente une demi-rotonde; la figure 273 une remise en fer à cheval ; la figure 274 une remise rectangulaire avec deux plaques à l'extérieur, l'une de 11, 60 de décimètres, l'autre de 6 mètres, établie à Blesme, sur le chemin de l'Est, et enfin la figure 275 une remise rectangulaire, avec chariot à l'intérieur, établie à Bar-le-Duc, sur le même chemin.

Si l'on compare les différentes espèces de remises de locomotives que nous venons de décrire, on trouve que les demi-rotondes sont les plus coûteuses. Une demi-rotonde établie à Paris dans la gare du chemin de Strasbourg a coûté, avec les voies, les fosses et la plaque tournante, 96,000 francs, et on n'y logeait que sept locomotives; en sorte que le remisage d'une locomotive coûtait environ 13,700 francs.

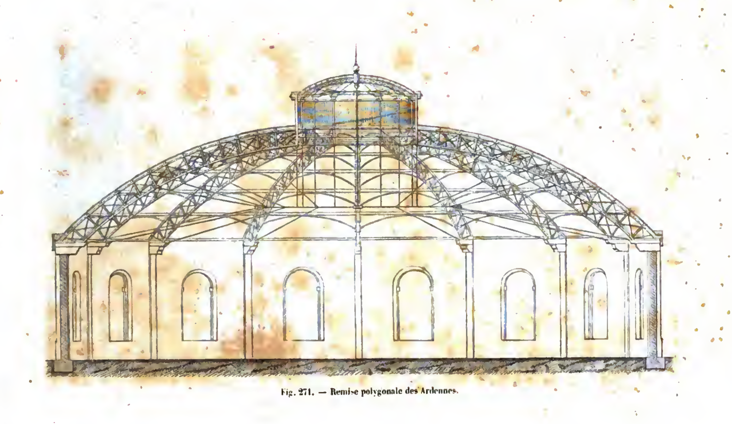


Fig. 271. — Remise polygonale des Ardennes.

Une rotonde, construite à Épernay sur des séries de prix peu différentes, a coûté, avec les fosses, les voies et les plaques, 148,000 francs. Elle contient 16 voies et 14 locomotives. Le remisage d'une locomotive y coûte donc 10,500 francs. L'administration du chemin de l'Est en a construit depuis lors de nouvelles qui n'ont coûté que 130,000 francs, en sorte que le prix du remisage d'une locomotive se trouve réduit à 9,350 francs.

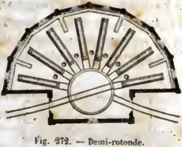


Fig. 272. — Demi-rotonde.

La remise en fer à cheval de la Villette, en appliquant les prix payés à Épernay, aurait coûté, avec les fosses, les voies et la plaque,



Fig. 273. — Remise en fer à cheval.

135,000 francs. Elle contient 16 locomotives. Le remisage d'une seule machine n'y coûte donc que 8,450 francs.

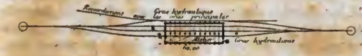


Fig. 274. — Remise rectangulaire de Blesme.

Toutefois la rotonde d'Épernay occupant une surface de terrain de 1,675 mètres et la remise en fer à cheval de la Villette, avec les voies et les plaques, une surface de 2,137 mètres, on trouverait, si l'on tenait compte du prix des terrains, que le remisage est plus coûteux dans le fer à cheval que dans la rotonde.

Le remisage, dans les anciennes remises rectangulaires, était plus

coûteux encore que dans les rotondes, à cause du grand nombre de plaques qu'elles nécessitaient.

La double remise rectangulaire de Blesme, avec les deux plaques à l'extérieur, a coûté, y compris les fosses, les voies à l'intérieur et à l'extérieur et les plaques, 160,000 francs.

Ce prix est comparable au prix moyen des anciennes rotondes

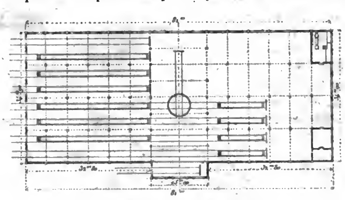


Fig. 275. — Remise rectangulaire de Bar-le-Duc.

d'Epernay et de Nancy, qui est de 148,000 francs, et à celles des nouvelles, qui est de 130,000 francs.

Le remisage d'une locomotive coûterait alors $\frac{160\,000}{16}$, soit 10,000 francs, à Blesme, dans des remises rectangulaires, et $\frac{130\,000}{14}$ francs, soit 9,350 francs, dans une rotonde établie dans une localité où les prix seraient sensiblement les mêmes.

Il faut toutefois observer que les voies extérieures comprises entre la remise et les plaques remplacent jusqu'à un certain point une partie des voies placées au dehors des autres remises, telles, par exemple, que celles qui servent à l'alimentation des machines, et que la grande plaque peut être utilisée dans le service de l'exploitation; il serait donc juste de ne pas faire peser, ainsi que nous l'avons fait, la totalité de la dépense de ces voies et de la plaque sur les frais d'établissement de la remise. En opérant cette réduction, le remisage, dans les remises rectangulaires semblables à celles de Blesme, deviendrait plus économique que dans les rotondes, les demi-rotondes ou les remises en fer à cheval.

Les remises rectangulaires, telles que la remise de Bar-le-Duc, sont naturellement plus coûteuses que les remises de Blesme, puisqu'au prix de ces dernières il faut ajouter le prix du chariot, de sa fosse, ainsi que celui de sa couverture, lesquels sont d'au moins 20,000 francs. Mais les grandes plaques et les voies qui y conduisent ne sont pas, avec ces dernières, d'une absolue nécessité, puisque la manœuvre peut se faire avec le chariot seul. On peut donc en déduire la dépense du prix de la remise, et elle devient alors de toutes les remises de locomotives la moins coûteuse. On la rendrait plus économique encore en se dispensant de couvrir le chariot.

On objecte à l'emploi des remises polygonales que, si la grande plaque placée au milieu venait à se briser, toutes les machines seraient emprisonnées dans la remise ; mais, avec des plaques bien établies, cet accident ne doit arriver que très-rarement.

Quant à la surface du terrain occupé, elle est :

Pour la remise polygonale, de 1,675 mètres ;

Pour la double remise rectangulaire (y compris les voies au dehors et les plaques), de 3,700 mètres.

Au point de vue de la dépense, il faudrait donc placer en première ligne la remise rectangulaire avec chariot, puis la remise rectangulaire avec grandes plaques à l'extérieur, puis la rotonde et la remise en fer à cheval, puis enfin la demi-rotonde.

Mais les rotondes ont des avantages particuliers qui doivent leur faire donner le plus souvent la préférence pour le remisage d'un grand nombre de machines, les remises rectangulaires étant les seules qui puissent être employées pour le remisage d'une petite quantité.

La surveillance des ouvriers, dans les remises en fer à cheval, est beaucoup plus difficile que dans les rotondes ; le chauffage en hiver y est aussi plus dispendieux, à cause du grand nombre de portes ; enfin la manœuvre sur les voies y est plus longue, et comme elle se fait à découvert, ainsi que celle de la plaque tournante, elle devient, dans certains temps d'hiver, extrêmement pénible et coûteuse.

Chaque voie de remisage des rotondes ne portant qu'une seule

locomotive avec son tender, on peut dégager une machine quelconque sans déranger les autres. Les remises en fer à cheval partagent cet avantage avec les rotondes. On ne peut dégager les machines isolément et indépendamment l'une de l'autre, dans les remises rectangulaires, qu'autant qu'on n'en place qu'une seule sur chaque voie, ce que la disposition du terrain ne permet pas toujours.

Dans les rotondes et les fers à cheval, les bancs d'ajusteurs, établis le long des murs entre les extrémités des voies, sont parfaitement éclairés par le côté, et l'espace trapézoïdal que limitent les deux fosses sert à loger les ouvriers travaillant aux réparations. Dans les remises rectangulaires, une partie au moins des ajusteurs travaillant aux machines ne sont éclairés que par les combles.

Dans les remises rectangulaires du modèle de la remise de Blesme, la plaque tournante est à découvert, comme dans les remises en fer à cheval; c'est un très-grand inconvénient.

Les chariots, bien qu'ils coûtent fort cher, remplacent avec économie les grandes plaques, puisqu'ils ne nécessitent pas de voies pour y accéder; mais, tels qu'ils sont aujourd'hui, la manœuvre en est assez difficile et surtout fort lente. Les ingénieurs cherchent à les améliorer, et nous croyons qu'ils y parviendront. Quelques-uns essayent de les manœuvrer à l'aide de la vapeur empruntée à la machine elle-même; s'ils réussissent, les remises rectangulaires avec chariot deviendront préférables aux rotondes mêmes pour un grand nombre de locomotives. Eu égard à l'état actuel des chariots, nous regardons les rotondes comme supérieures.

Si, à Blesme et à Bar le-Duc, la compagnie de l'Est a construit deux remises rectangulaires pour loger seize machines locomotives, cela tient à ce que la configuration du terrain ne lui permettait pas d'établir de rotondes. Partout ailleurs, à la Villette, à Épernay, à Nancy, à Montigny, à Troyes, à Chaumont, elle a construit des rotondes.

Il importe d'établir, dans toutes les remises de locomotives, entre chaque fosse, un robinet pouvant fournir de l'eau, soit pour le lavage, soit pour le remplissage des machines, et de donner écoulement aux eaux qui s'amassent au fond des fosses.

Une fosse en maçonnerie régnant au pourtour de la remise et couverte de plaques de fonte sert à loger les conduites d'eau froide pour le nettoyage des machines et quelquefois celles d'eau chaude pour le chauffage de la remise; la partie inférieure de cette fosse sert d'aqueduc à chacune des fosses à piquer le feu pour l'écoulement des eaux qui s'y rassemblent.

Au chemin de fer de l'Est, les rotondes ne sont pas chauffées par des tuyaux. — On n'emploie, comme moyen de chauffage, que des corbeilles remplies de coke.

On dispose quelquefois, au-dessus de chaque machine, des cheminées d'appel en tôle à manteau mobile pour activer l'allumage des machines et rejeter au dehors les produits de la combustion, mais ces cheminées sont très-coûteuses et l'on s'en dispense le plus souvent.

Quand une remise rectangulaire comprend trois voies au moins, il est indispensable de l'éclairer non-seulement sur les côtés, mais aussi par des châssis placées dans le toit immédiatement au-dessus des entre-voies, qui doivent avoir une largeur suffisante pour permettre les petites réparations de machines.

Il faut, autant que possible, n'employer les remises de locomotives que pour les réparations courantes et les séparer des ateliers de grandes réparations. On évite ainsi les dérangements qui résulteraient pour les ouvriers des fréquents déplacements des machines en service, et on préserve les machines en grande réparation de l'action destructive de l'acide sulfurique, qui se forme par le dégagement d'acide sulfureux provenant de l'allumage.

Les conditions que doivent remplir les remises de locomotives se trouvent résumées dans le *Guide du mécanicien*, de la manière suivante :

1° Qu'on puisse facilement entrer ou sortir une machine sans en déplacer d'autres, la manœuvre d'une machine qui n'est pas en feu exigeant beaucoup de temps, employant beaucoup d'hommes et entraînant des frais assez considérables, si elle se renouvelle souvent;

2° Que la fumée et la vapeur qui se produisent lorsqu'on allume

une machine ou qu'on la met en mouvement trouvent des issues faciles et des écoulements bien ménagés, afin qu'elles ne gènent pas les ouvriers et qu'elle n'oxydent pas les pièces des autres machines;

3° Qu'il y ait assez de jour en tous sens pour que l'on puisse facilement travailler sous les machines et dans toutes leurs parties;

4° Que l'espace libre autour de chaque machine soit suffisant pour que l'on puisse y déposer les pièces qu'on démonte, sans que cela gêne les mouvements ou le travail des machines voisines;

5° Qu'en hiver on puisse maintenir dans la remise une température suffisante pour empêcher la congélation de l'eau.

Voies de service. — Indépendamment de la voie conduisant à la remise, il doit y avoir dans toute gare une voie d'une certaine étendue sur laquelle les machines puissent aller et venir pour s'alimenter sans devenir une cause d'accidents, et des voies de stationnement communiquant par leurs deux extrémités avec la voie de service, sur lesquelles viennent se placer les machines qui attendent leur tour de départ. La disposition de ces voies doit être telle, que chaque machine puisse, sans déranger les autres, prendre le train qu'elle doit conduire ou atteindre la voie destinée à l'alimentation.

Enfin, une voie spéciale, communiquant avec la remise sur laquelle sont placées des fosses, doit être réservée pour le lavage des machines. Sur une voie peu fréquentée par les machines en service, on dispose une grue puissante qui sert à lever les machines, pour visiter ou changer les coussinets des boîtes à graisse, remplacer les essieux montés, etc.

La bonne disposition des voies a une très-grande importance; car une machine bien préparée peut, si elle n'est pas dérangée, rester pendant un très-long temps en feu (huit et dix heures) sans consommation sensible de combustible; tandis que, si elle est obligée de faire des manœuvres, le feu s'active par la marche, et, lorsque la machine est revenue en place, le coke se consomme en produisant de la vapeur en pure perte, la chaudière s'épuise, et bientôt il faut alimenter, ce qui augmente la consommation et reproduit les mêmes conditions fâcheuses; en outre, ces mou-

vements peuvent forcer d'autres machines à se déplacer et devenir ainsi une source indéfinie de consommation et de dépense.

Des fosses nombreuses doivent être établies sur les voies de stationnement des locomotives, afin de permettre de les visiter, de les réparer et de les nettoyer.

Réservoirs de diverses espèces. — Les réservoirs qui servent pour l'alimentation des locomotives se trouvent, avons-nous dit, dans le voisinage des remises. Ces réservoirs doivent pouvoir contenir une quantité d'eau plus que suffisante pour les besoins des jours où le service est le plus actif.

Lorsque les réservoirs ne sont pas de très-grandes dimensions, il est nécessaire, en hiver, de préserver, par un moyen quelconque, l'eau de la gelée. Quelquefois on la chauffe. Le combustible employé étant alors de qualité inférieure, tandis que celui dont on se sert sur les locomotives est toujours de première qualité, il nous paraît convenable de chauffer l'eau des réservoirs, même en été, afin de diminuer les frais de chauffage de la locomotion.

Il convient généralement de porter l'eau des réservoirs à la plus haute température possible, car de tous les moyens employés pour chauffer l'eau des locomotives, le plus coûteux est sans contredit le chauffage direct par le foyer des machines.

Les petits réservoirs doivent être, dans tous les cas, enveloppés de substances qui empêchent la déperdition de la chaleur.

Lorsqu'on ne les chauffe pas, on empêche la congélation de l'eau en les entourant de fumier sur une épaisseur de $0^m,40$ environ, ou en les revêtant de tresses de paille.

Au chemin de fer de l'Est on ne chauffe pas les réservoirs, qui sont généralement de grandes dimensions. La gelée d'une masse d'eau aussi considérable que celle que contiennent ces réservoirs n'est pas à craindre : il se forme tout autour, dans les grands froids, une légère couche de glace à la surface du liquide, mais celle-ci se brise d'elle-même et ne gêne pas.

Aucun des nouveaux réservoirs de la ligne de Mulhouse n'est couvert ou enveloppé.

On ne s'est pas suffisamment préoccupé, sur plusieurs lignes de chemins de fer, de l'alimentation et de l'établissement des réser-

voirs : il en est résulté une grande augmentation des frais d'exploitation ; c'est pourquoi nous croyons nécessaire de traiter cette question avec quelque détail.

L'établissement des prises d'eau pour l'alimentation des machines est une opération importante et délicate qui demande à être étudiée avec soin. On doit considérer la nature des eaux, la position de la machine qui doit élever ces eaux et les refouler vers le réservoir, et enfin les appareils destinés à fournir directement l'eau aux machines.

L'examen de la nature des eaux doit précéder toutes les autres opérations. On sait que les eaux incrustantes occasionnent très-rapidement la destruction des foyers et des chaudières. En général, les eaux des grandes rivières sont d'un bon emploi, et on doit les préférer aux eaux de sources. Dans tous les cas, il faut soumettre les unes et les autres à l'analyse chimique. Nous recommandons comme moyen simple et expéditif le procédé hydrotimétrique de MM. Boutron et Boudet. Quand on se détermine à prendre l'eau d'une rivière, on doit établir la prise dans le lit même et ne point se contenter, comme on l'a fait trop souvent, de creuser un puits à quelque distance de ce lit. Ce procédé est le plus commode ; mais il est rare qu'il réussisse. L'expérience a prouvé que les eaux des coteaux imbibent l'alluvion des vallées, et que ces puits, loin de fournir l'eau des fleuves, donnent des eaux incrustantes. Le fait s'est présenté au bord de la Seine, dans des puits creusés à quelques mètres seulement de la berge. Il faut donc, ou poser le tuyau d'aspiration en rivière, ou mettre le puits en communication directe avec celle-ci par une tranchée remplie de pierres et de gros cailloux.

La machine à vapeur doit être placée à une faible distance du point choisi pour la prise d'eau, afin de donner la moindre longueur possible à la conduite d'aspiration, qu'il est toujours difficile de rendre parfaitement étanche. D'un autre côté, il y a avantage à placer cette machine dans le dépôt des locomotives, ou plutôt dans le petit atelier qui y est annexé. Elle fournit alors la force motrice qui met en mouvement un petit tour, une machine à percer, etc. Il faut, dans chaque cas particulier, combiner l'ensemble de ces données.

La prise d'eau étant établie, la machine fixe placée, on construit

le réservoir, dont la situation est toujours aisée à déterminer. Ce réservoir est fait ordinairement en tôle de forme rectangulaire ou de forme circulaire. Cette dernière forme est préférable et plus économique. Un réservoir rectangulaire (fig. 276) de 8 mètres sur 4 mètres, avec 1^m,10 de hauteur, cubant 35 mètres, pèse 3,000 kilogrammes avec les rivets et les tirants. Un réservoir rond (fig. 277) de 4 mètres de diamètre sur 3^m,50 de hauteur, contenant 43 mètres cubes, ne pèse que 1,800 kilogrammes. Un réservoir circulaire de 5 mètres de diamètre, 4 mètres de hauteur, contenant 78 mètres cubes, pèse 3,700 kilogrammes. On a établi aussi des réservoirs en fonte formés de plaques boulonnées. Ces réservoirs sont très-solides, et quand les joints ont été bien mastiqués, ils ne donnent lieu à aucune réparation. Un réservoir de ce genre, contenant 250 mètres cubes d'eau, pèse 20,600 kilogrammes et coûte 5,860 fr., tandis qu'un réservoir rectangulaire en tôle de 200 mètres cubes (13^m,30 sur 6 mètres, sur 2^m,50) ne coûte pas moins de 12,000 francs. Quant au support en maçonnerie sur lequel doivent reposer les réservoirs, l'avantage, au point de vue de la dépense, est encore au bâtiment de forme circulaire.

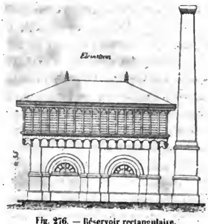


Fig. 276. — Réservoir rectangulaire.

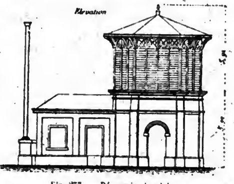


Fig. 277. — Réservoir circulaire.

Les réservoirs primitivement adoptés par la compagnie de l'Est étant devenus insuffisants, on les a remplacés dans tous les grands dépôts par des réservoirs contenant 250 mètres cubes. Dans la plupart des dépôts ou stations intermédiaires, les réservoirs cubent 60, 80 et même 100 mètres; ils sont ronds, en tôle ou en fonte.

Les appareils qui versent l'eau directement dans les tenders sont de trois sortes. Ce sont, ou de petits bâtiments en maçonnerie supportant des réservoirs en tôle de 10 à 12 mètres de capacité et placés auprès des voies (fig. 276 et 277), ou les grues en fonte que l'on voit sur la plupart des chemins, ou, enfin, des grues-réservoirs formées d'une colonne en fonte qui supporte un petit réservoir circulaire en tôle. La grue ordinaire a le grand inconvénient de débiter lentement. Il est rare qu'il faille moins de cinq à six minutes pour remplir un tender de 5 mètres de capacité. L'eau y gèle facilement en hiver, à moins de grandes précautions, et l'entretien en est coûteux. On peut, à la vérité, remédier à la faiblesse du débit, en augmentant le diamètre des tuyaux qui mettent les grues en communication avec le grand réservoir; mais alors on augmente considérablement la dépense d'établissement. Nous ne parlons pas de surélever le réservoir; on n'obtient ainsi qu'une petite augmentation d'écoulement; celui-ci n'est proportionnel qu'à la racine carrée de la hauteur du réservoir, tandis qu'il croît comme le carré du diamètre des conduites. Les petits réservoirs placés près des voies n'ont pas ces inconvénients : les conduites peuvent être faites économiquement et avoir un petit diamètre, l'eau peut être aisément chauffée par un poêle placé sous le réservoir. On reproche à ce système d'encombrer la voie et de masquer la vue dans les stations. L'objection n'est peut-être pas très-grave, car on n'hésite pas à placer aux mêmes points des hangars pour le service des bagages. Souvent même, quand la prise d'eau est rapprochée, ou quand on a pu établir un puits, on supprime le réservoir principal et on se borne à construire, près des voies, les deux petits réservoirs sous l'un desquels on place la machine fixe. On augmente un peu, dans ce cas, la capacité des caisses à eau.

Les grues-réservoirs décrites dans le premier volume (p. 595) ont les mêmes avantages sans avoir les mêmes inconvénients.

Elles sont disposées de façon à permettre l'échauffement de l'eau, la colonne de support contenant un foyer autour duquel l'eau circule. Le petit réservoir est muni de deux tuyaux de prise d'eau placés aux extrémités du même diamètre. Les soupapes y sont d'une manœuvre facile ; le débit est rapide et comme à gueule bée ; le diamètre des conduites de communication avec le réservoir peut être réduit au minimum : c'est évidemment le système qui réalise la plus grande économie.

Magasin de coke. — Les terrains destinés aux dépôts de coke doivent être aussi rapprochés que possible des voies de stationnement des locomotives. Lorsque l'espace le permet, et surtout aux points où il faut donner du coke aux machines à leur passage, il est très-avantageux d'établir auprès de la voie où la machine stationne une large estrade sur laquelle on pose les paniers et d'où l'on peut directement les décharger dans les tenders. On obtient, par ce moyen, une accélération très-sensible du service et une économie de main-d'œuvre. Les magasins principaux doivent être placés aux points d'arrêt ou de départ des machines : cependant il peut y avoir lieu de déroger à cette règle si les arrivages se font à un point intermédiaire, afin d'éviter des transbordements et des manutentions qui sont toujours une source de dépense et de déchet.

Il est très-utile de préserver le coke des intempéries de l'air, car on a reconnu une différence sensible entre l'effet calorique d'un certain poids de coke mouillé et celui d'un poids de coke sec. Cependant, comme le coke ne peut être empilé en tas d'une grande hauteur sans subir un déchet considérable, et que par conséquent il faudrait de très-vastes hangars pour contenir des approvisionnements d'une certaine importance, on trouve, sur la plupart des chemins de fer, de grandes quantités de coke amoncelées sur des chantiers en plein air.

PARTIE DE LA GARE CONSACRÉE AU SERVICE DE LA PETITE VITESSE.

Composition de cette partie considérée dans son ensemble.

Bâtiments pour le service des marchandises. — La manutention des marchandises se fait généralement, suivant la nature de la

marchandise, soit à couvert sur des trottoirs placés sous de grandes halles, soit sur des trottoirs à découvert.

Il ne faut jamais bitumer avec le brai de gaz les planchers des halles à marchandises où on dépose des sons, farines, etc. Cette substance avarie en très-peu de temps ces marchandises.

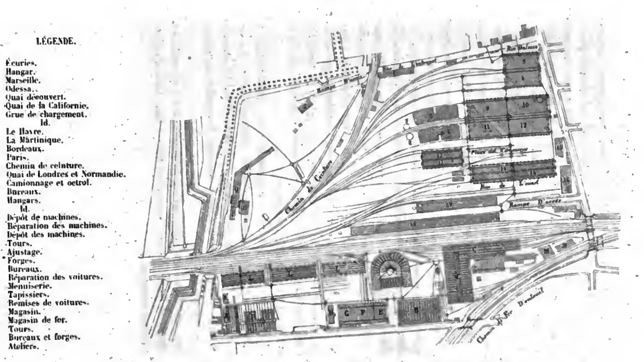
Halles parallèles, halles perpendiculaires. — Les halles sont tantôt parallèles aux voies principales, comme aux chemins d'Orléans et du Nord, tantôt perpendiculaires, comme aux chemins de Lyon et de Strasbourg.

La configuration du terrain ne permet pas toujours de choisir entre les deux systèmes. *Quand on peut établir des halles parallèlement aux voies, il ne faut pas hésiter à le faire.* C'est l'opinion de l'ancien chef du mouvement dans la gare de la Villette du chemin de Strasbourg, M. Broutin du Pavillon, de M. Dennery, agent général du mouvement au chemin de fer de Lyon, et de plusieurs autres hommes pratiques que nous avons consultés. Les lignes suivantes ont été rédigées par M. Broutin :

Avantages des halles parallèles. — « Dans une gare de marchandises, le système des halles parallèles aux voies principales est à tous égards préférable à celui des halles perpendiculaires. Exigeant un moins grand nombre de plaques tournantes, il simplifie la main-d'œuvre, qu'il diminue d'autant plus que le travail peut être fait en grande partie par une machine ou par des chevaux.

« Avec des halles parallèles, un train de marchandises arrivant peut entrer directement sous les halles, et le débranchement, c'est-à-dire la répartition des waggons aux différents quais, d'après la nature des marchandises qu'ils contiennent, peut être fait par une machine. Une machine peut encore prendre ces waggons quand ils sont déchargés et les conduire aux quais d'expédition ; et là, une fois chargés pour être expédiés, ces mêmes waggons peuvent être enlevés, toujours au moyen d'une machine ou de chevaux, et être conduits sur les voies de garage pour attendre leur mise aux trains.

« La gare des Batignolles (chemin de Rouen) (fig. 278), dont le système est parallèle, offre de grandes ressources pour la facilité



LÉGENDE.

1 Écuries.
2 Hangar.
3 Marseille.
4 Odessa.
5 Quai découvert.
6 Quai de la Californie.
7 Grue de chargement.
8 Id.
9 Le Havre.
10 La Martinique.
11 Bordeaux.
12 Paris.
13 Chemin de ceinture.
14 Quai de Londres et Normandie.
15 Camionnage et octroi.
16 Bureaux.
17 Hangars.
18 Id.
A Dépôt de machines.
B Réparation des machines.
C Dépôt des machines.
E Tours.
F Ajustage.
G Forges.
H Bureaux.
I Réparation des voitures.
J Menuiserie.
K Tapissiers.
L Remises de voitures.
M Magasin.
N Magasin de fer.
O Tours.
P Bureaux et forges.
Q Ateliers.

Fig. 278. — Gare du chemin de l'Ouest, à Batignolles. — Service des marchandises et de la traction

du travail. Isolée complétement des voies principales, très-vaste et possédant un réseau de voies en éventail qui aboutit par des aiguilles aux voies principales et se répand dans toutes les parties des gares, cette gare est bien assurément la plus commode et la plus facile de toutes les gares à marchandises de Paris.

« Le système des halles perpendiculaires est loin d'offrir les mêmes avantages que le système des halles parallèles. Le service ne peut être fait qu'à bras, chaque waggon doit être amené sur la plaque qui correspond à la voie de la halle dans laquelle il doit entrer, et encore arrive-t-il souvent que le trajet ne puisse avoir lieu directement ; il faut alors prendre des détours qui occasionnent des pertes de temps considérables et de nouveaux inconvénients.

« Avec les halles perpendiculaires, l'arrivée des trains de marchandises se fait toujours sur une même voie, celle qui est munie de plaques en correspondance avec les voies des halles d'arrivée. Deux trains ne peuvent donc arriver à un court intervalle l'un de l'autre, sinon le dernier venu serait exposé à attendre que la rentrée du premier fût complétement achevée, ou, alors, il faudrait le garer sur une voie de service pour le ramener ensuite. De là des lenteurs et du trouble dans le service.

« Le même inconvénient peut se rencontrer aux expéditions, s'il s'agit de former un ou plusieurs trains extraordinaires. Le seul moyen d'obvier à cet état de choses serait donc d'établir plusieurs voies de départ et d'arrivée, c'est-à-dire que le nombre de plaques à poser serait considérable.

« Avec le système des halles perpendiculaires, il n'y a jamais trop de plaques, et il en faudrait, pour ainsi dire, à tous les endroits où deux voies se coupent.

« Je parle ici des halles perpendiculaires établies dans de bonnes conditions, c'est-à-dire de celles qui ont :

« 1° Trois voies coupant par moitié chaque halle dans sa longueur, deux de ces voies longeant les quais destinés à recevoir les waggons à décharger ou à charger, et la troisième, celle du milieu, servant au dégagement des waggons après leur déchargement ou leur chargement ;

« 2° Une ou deux voies simples transversales servant de com-

munications entre les différentes halles de la gare, sans parler, bien entendu, des deux voies simples qui relient ensemble toutes les halles par leur extrémité.

« Ces voies transversales, qui nécessairement traversent toutes les cours, peuvent servir encore à recevoir les waggons dont la manutention est opérée par les destinaires ou expéditeurs des waggons dans leurs voitures, et réciproquement.

« 3° Un écartement convenable entre chaque voie et laissant la possibilité de tourner les waggons sur plaques sans être obligé de faire une coupure sur les voies placées à côté.

« 4° Enfin, indépendamment des voies de départ et d'arrivée, qui doivent toujours être libres, trois ou quatre voies de service parallèles à celle-ci et en communication par des plaques avec les voies des halles dont elles longent les extrémités (ces voies établies dans la plus grande longueur possible et se reliant toutes par des aiguilles avec les voies de départ et d'arrivée).

« L'usage de ces voies consiste à recevoir le trop-plein des halles, soit d'arrivages, soit d'expéditions, en même temps que les waggons dont la marchandise ne doit pas être mise à quai, mais enlevée à la gare ou par les destinaires eux-mêmes, telle que maringottes, cadres, etc.

« Avec ce système de voies intérieures, les voitures et camions ont un accès sûr et constant aux divers quais.

« La gare de Bercy (chemin de Lyon) est établie d'après ce système, mais elle manque de plaques et de voies transversales dans les halles ; la transmission du matériel d'une halle à une autre ne peut être faite que par les voies qui relient ensemble toutes les halles par leurs extrémités. Cette absence de voies transversales augmente beaucoup la main-d'œuvre en allongeant le parcours à faire faire à bras aux waggons qui doivent passer des halles d'arrivages à celles d'expéditions. »

ÉTAT COMPARATIF

DU TRAVAIL EFFECTUÉ DANS LES GARES DE MARCHANDISES DES PRINCIPALES LIGNES DE CHEMINS DE FER, NON COMPRIS LE CHEMIN DE CEINTURE (EXERCICE 1857).

CHEMINS DE FER.	NOMS des GARES.	POSITION des HALLES.	TONNAGE JOURNALIER MOYEN.	NOMBRE JOURNALIER DE WAGGONS EXPÉDIÉS ET REÇUS.	NOMBRE de			
					PLAQUES TOURNANTES.	TOURNEURS DE PLAQUES.	CHEVAUX.	WAGGONS MANŒUVRÉS PAR HOMME.
			tonnes					
Orléans. . .	Ivry[1].	Parallèle.	2500	840	158	59	5	14 2
Ouest. . . .	Batignolles[2]. . .	Id.	2050	585	50	0	12	27 5
Nord.	La Chapelle[3]. .	Id.	2554	959	145	112	22	8. 5
Est.	La Villette[4]. . .	Perpendic.	1192	760	215	145	44	5 2

A la note précédente M. Broutin a joint le tableau ci-dessus, établi sur les données fournies par les chefs des principales gares de marchandises de nos grandes lignes de chemin de fer,

[1] Bien que parallèles aux voies principales, les halles de la gare d'Ivry, à l'exception d'une, ne sont pas en communication directe par des aiguilles avec les voies principales. Il n'y a donc pas de manœuvres à la machine ; tout le travail est fait par des chevaux. La plus grande partie des plaques ayant $4^{m},20$ de diamètre, et étant très-espacées, il suffit de deux hommes par cheval pour tourner les waggons. Le cheval qui mène un waggon plein aux halles d'arrivages ramène un waggon vide aux halles d'expéditions, à cette gare les arrivages et les expéditions se balancent..

[2] Les voies des halles de la gare des Batignolles sont toutes en communication directe par des aiguilles avec les voies principales. Toutefois pas de manœuvres à la machine, et les chevaux font tout le service des plaques. Cette gare est excessivement commode.

[3] Les équipes de tourneurs de plaques sur cette ligne sont composées de six hommes, quand elles ne sont que de cinq dans les autres lignes, notamment à l'Est. En tenant compte de cette différence, il faudrait augmenter d'autant le nombre de waggons tournés par homme, ce qui le porterait à dix.

La charge des waggons étant en moyenne de 10,000 kilos, il faut un plus grand nombre de bras pour les manœuvrer

Trente hommes et trois chevaux sont employés au mouvement du chemin de ceinture.

[4] Travail difficile et qui exige beaucoup de main-d'œuvre ; manœuvres continuelles

MA	NT	OBSERVATIONS.
É GÉ.	T	
275		Le transbordement donnant lieu à une double manutention, il convient d'ajouter au tonnage total de Bercy. . 191,583,123
702		Le tonnage transbordé. . . . . 46,903,969 déjà compris.
095		
052		Tonnage total manutentionné 241,487,092
		Ce qui donne un prix de manutention de. 0f,49,1

ENNE P

et ce tableau, qui a été donné dans la première édition de cet ouvrage, a été, pour cette seconde édition, rectifié par les différents chefs de gares que nous avons consultés à cet effet.

M. Dennery, avec une extrême obligeance, a bien voulu dresser les tableaux ci-contre, qui, aussi bien que celui de M. Broutin, mettent en évidence les avantages des halles parallèles aux voies.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.	BERCY.	LYON-VAISE.
Surface des quais. . . . . mèt. car.	16,776 »	13,790 »
Surface employée par tonne, par jour. . . mèt. car.	8 34	7 53
Poids manutentionné par homme, par jour. . kilog.	12,161 »	14,974 »
Waggons manœuvrés.	5 »	7 »

Dans les magnifiques gares à marchandises des chemins d'Angle-

à la machine, occasionnées par l'établissement du chemin de ceinture de l'autre côté des voies principales.

Vingt hommes sont employés au mouvement du chemin de ceinture.

Le tonnage journalier moyen de la gare de la Villette s'élève à 2,086 tonnes se décomposant ainsi :

Trafic direct.	1,192 tonneaux.
Trafic ceinture.	894 —
Total.	2,086 tonneaux.

Le service total journalier des waggons expédiés et reçus est de 1,160 waggons.

Trafic direct.	760 waggons.
Trafic ceinture.	400 —
Total.	1,160 waggons.

Le tonnage journalier moyen de la gare de la Chapelle est de :

Trafic direct.	2,534 tonneaux.
Trafic ceinture.	1,287 —
Total.	3,821 tonneaux.

A la Chapelle le nombre total des waggons expédiés et reçus est de :

Trafic direct.	959 waggons.
Trafic ceinture.	523 —
Total.	1,482 waggons.

Dans la gare de Rouen, à Batignolles, il n'y a pas de tourneurs de plaques, toutes les manœuvres sont faites par des chevaux.

terre (fig. 279 et 280), les voies, si elles ne sont pas parallèles aux voies principales, sont disposées en éventail, comme dans nos gares françaises des Batignolles (fig. 278) et de la Chapelle (fig. 281), forme qui présente pour le service les mêmes avantages que les voies parallèles.

En Allemagne nous retrouvons les halles parallèles sur un grand nombre de chemins de fer, et notamment sur celui de Berlin à Hambourg, gare de Berlin (fig. 282).

Disposition des bâtiments et annexes consacrés au service des marchandises, considérés dans leurs détails.

Disposition intérieure des halles. — Les halles, qu'elles soient parallèles ou perpendiculaires aux voies principales, sont disposées à peu près de la même manière sur toutes les lignes de chemin de fer.

Quelquefois le service se fait sur un trottoir unique placé au milieu ; d'un côté se trouve une voie pavée ou ferrée pour les voitures de roulage ; de l'autre sont les voies en fer pour les waggons (fig. 283). Les marchandises à emmener sont déposées par les voitures de roulage d'un côté du trottoir et chargées sur les waggons de l'autre côté.

C'est l'inverse pour les marchandises qui, arrivées par les waggons, doivent être transportées en ville.

Dans les grandes gares, il serait trop coûteux de fermer les hangars comme dans les stations intermédiaires. On les laisse entièrement ouverts, en exerçant pendant la nuit une grande surveillance sur les colis qu'ils renferment.

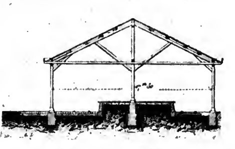
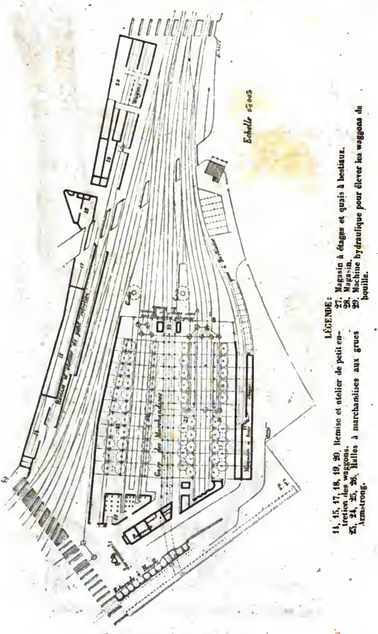


Fig. 283. — Halle à marchandises.

Au chemin de Rouen, gare des Batignolles, on a posé des voies



LÉGENDE :

14, 15, 17, 18, 19, 20. Remise et atelier de petit entretien des waggons.
23, 24, 25, 26. Halles à marchandises aux grues Armstrong.
27. Magasin à étages et quais à bestiaux.
28. Magasin.
29. Machine hydraulique pour élever les waggons de houille.

Fig. 279. — Gare de Great-Western.

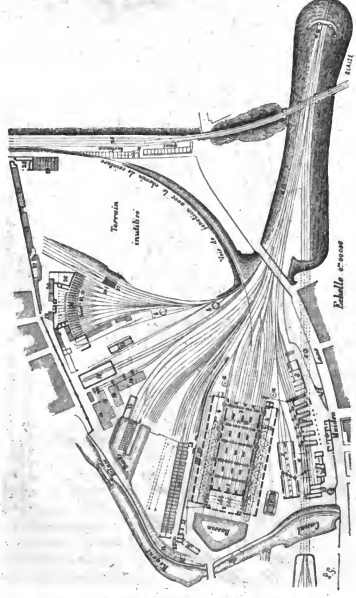


Fig. 280. — Gare de Greath-Northern. — (Voir la légende page 69.)

GARE DE GREAT-NORTHERN

LÉGENDE :

1 Halle à marchandises.
2 Grenier.
3 Quai de l'arrivée.
4 Quai du départ.
5 Halle couverte.
6 Gare pour les pommes de terre.
7 Halle pour les pommes de terre.
8 Halle pour la chaux.
9 Magasins et bureaux.
10 Estacade couverte pour la houille.
11 Rampe avec écurie au-dessous.
12 Magasin à fourrage.
13 Quai découvert.
14 Grues à pierre.
15 Magasin à graisse.
16 Halle aux briques et tuiles.
17 Quai à coke couvert.
18 Remise de machines.
19 Tours.
20 Forges.
21 Chef de dépôt
22 Magasin à fourrage.
23 Écurie.
24 Chevaux.
25 Malades.
26 Cour couverte.
27 Concierge.
28 Magasin et bureau
29 Bascule.
30 Grue à eau.
a Grue, 10 tonnes.
b Plaques tournantes de 10 mètres.
c Puits.
d Signal.

GARE DE LA CHAPELLE

(Voir le plan page 70.)

LÉGENDE :

A Nouveau montage des locomotives.
B Montage de locomotives.
C Ajustage.
D Forge.
E Atelier central.
F Bureau du matériel.
G Remise de locomotives.
H Id.
I Id.
J Dépendances de l'économat général.
K Économat général avec bureaux.
L Remise de voitures.
M Usine à gaz avec deux gazomètres.
N Chantier du service de la voie avec ateliers.
1 Quai aux bestiaux.
2 Halles aux huiles et spiritueux.
3 Expédition des marchandises à petite vitesse.
4 Arrivage, quai de détail.
5 — sucre en sacs.
6 — quai de détail.
7 — fers et fontes.
8 Halle aux grains.
9 Transbordement du chemin de fer de ceinture.
10 Bureaux et logements.
11 Remise pour les voitures de camionnage.
12 Caisse.
13 Halle aux grains et marchandises en souffrance.
14 Entrepôt.
15 Terrains destinés à l'établissement d'une gare spéciale pour les charbons.

GARE DU CHEMIN DE BERLIN A HAMBOURG

(Voir le plan page 71.)

LÉGENDE :

AA Bâtiment des voyageurs.
B Remise de waggons.
C Remise de locomotives.
DD Halles à marchandises.
E Quai à bestiaux.
F Ateliers.
G Fosse.
H Four à coke.
I Dépôt de bois.
JJJ Jardins.
K Remise de locomotives.

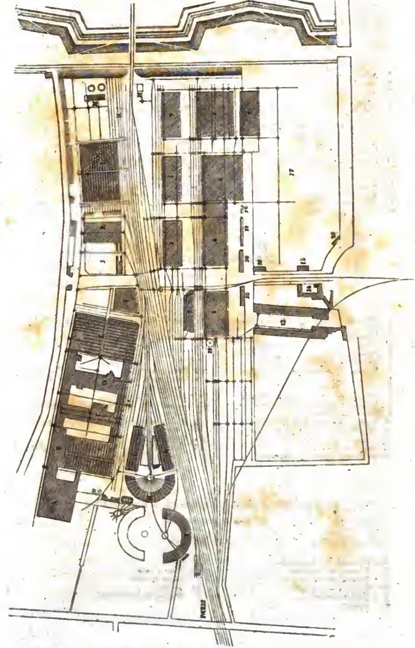


Fig. 281. — Gare du chemin de fer du Nord, à la Chapelle. — (Voir la légende page 69.)

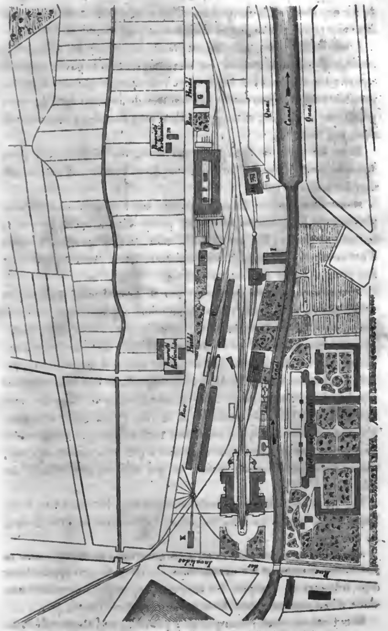


Fig. 282. — Plan de la gare du chemin de Berlin à Hambourg, à Berlin.
(Voir la légende, p. 69.)

de fer des deux côtés du trottoir, et on a réuni ces deux voies par des voies transversales logées dans les coupures faites au trottoir.

L'une de ces voies, celle qui est placée du côté où les voitures de roulage abordent le trottoir, est alors noyée dans le pavé ; elle sert à porter les waggons sur lesquels on veut charger les marchandises immédiatement à leur sortie des voitures de roulage sans les faire passer sur le trottoir, et ceux que l'on veut décharger directement dans ces voitures.

Dans les gares de quelque importance, des trottoirs ou quais spéciaux sont consacrés aux marchandises partant, d'autres aux marchandises arrivant.

Monte-charges. — La note suivante sur les monte-charges employés dans les gares anglaises fait partie d'un rapport adressé à la Compagnie de l'Est par MM. Grenier et Guillaume, à la suite d'un voyage qu'ils ont fait en Angleterre pour étudier le service des grandes gares de marchandises.

Premiers appareils construits par M. Armstrong. — C'est en 1845 que M. Armstrong réalisa la première application de son système, dans la construction d'une grue de quai à Newcastle. Cette grue est mue par l'eau des conduites de la ville; elle a toujours fonctionné très-régulièrement. Peu de temps après, il établit des appareils semblables aux docks Albert à Liverpool, où l'on voit un grand nombre de grues de quais et de monte-charges de magasins mus également par l'eau des conduites de la ville. Puis il construisit pour les mines d'Allenheads des machines hydrauliques, à mouvement de rotation continu, qui sont disposées à peu près comme des machines à vapeur à action directe et qui utilisent une chute d'eau très-élevée.

Ces machines ont une grande analogie avec les machines à colonne d'eau employées dans les mines d'Allemagne et à Poullaouen en France.

Appareils dans lesquels l'eau n'est que l'intermédiaire entre la puissance motrice et les opérateurs. — Malgré ces applications déjà très-variées, l'emploi des nouveaux appareils, nécessitant une chute d'eau sous une assez forte pression, eût été limité.

Mais l'auteur ayant remarqué qu'il pourrait, en l'absence de cette

force motrice, la créer en élevant de l'eau dans un réservoir, d'où elle serait distribuée aux divers engins de son système, et l'expérience ayant confirmé ses prévisions, l'application de ses appareils devint pour ainsi dire générale dans les docks et les grandes gares à marchandises.

L'eau n'est plus alors qu'un intermédiaire entre le moteur et les opérateurs, mais un intermédiaire bien supérieur aux organes ordinaires de transmission de mouvement, au point de vue des frottements et des chocs, qui peuvent être atténués autant qu'on le désire; c'est aussi un régulateur dont l'amplitude d'action n'a pour limite que la capacité du réservoir, de façon qu'une petite machine à vapeur, travaillant d'une manière uniforme à élever l'eau dans le réservoir, suffit pour vaincre, à un moment donné, des résistances très-considérables dont l'action est intermittente et irrégulière.

Accumulateur. — Souvent, au lieu de réservoirs élevés sur des tours ou dans les combles des magasins, M. Armstrong emploie un appareil qu'il nomme *accumulateur*, et qui consiste en un cylindre de capacité suffisante, dans lequel se meut un plongeur convenablement lesté. Dès lors rien ne limite la pression de l'eau, et, comme il y a intérêt à rendre cette pression aussi considérable que possible, pour diminuer le volume d'eau en mouvement, la dimension des appareils et des conduites, etc., M. Armstrong a adopté le chiffre de 600 anglaises par pouce carré, ce qui correspond à environ 40 atmosphères. Comme avantage particulier à l'accumulateur, il convient d'indiquer qu'on peut, en ajoutant du lest au plongeur, augmenter à volonté la puissance des appareils.

Application aux gares. — Les machines hydrauliques qu'on rencontre le plus souvent dans les gares de marchandises sont des grues pivotantes et des monte-charges de magasins. On en voit quelques-unes aussi dans les gares de voyageurs du Great-Western, à Londres.

Elles y sont employées à manœuvrer des cabestans, des plaques tournantes, des chariots automatiques, des waggons isolés, des ponts de service qui relient les quais intermédiaires pour permettre aux voyageurs de traverser les voies, et enfin des châssis mobiles emportant des lampes dans le sous-sol du quai d'arrivée, et les



ramenant après nettoyage au quai de départ. Mais ces applications du système Armstrong paraissent avoir plutôt pour objet d'exciter la curiosité que de rendre le service de la gare plus facile ou plus économique, et nous partageons l'opinion de tous les ingénieurs que nous avons consultés en Angleterre, qui sont d'avis que les fréquentes modifications qu'on est obligé d'apporter aux voies de fer dans les gares de voyageurs ne se prêtent pas à l'emploi d'engins fixes comme les appareils hydrauliques.

Les grues et monte-charges sont donc les seules machines qu'il soit utile d'examiner en vue de l'application qu'on se propose ici. Ces appareils présentent tous la même disposition de l'organe moteur : c'est un cylindre dans lequel se meut, sous la pression de l'eau, un piston plongeur, relié à la chaîne qui doit soulever les fardeaux ; le piston n'est pas directement fixé à ladite chaîne, car alors la course du fardeau ne pourrait être plus grande que celle du piston ; la chaîne passe sur un certain nombre de poulies disposées comme des moufles, et le piston fait corps avec la chape mobile de ces poulies : par exemple, s'il y a quatre poulies, la course du fardeau sera égale à quatre fois celle du piston, et ainsi de suite. La distribution de l'eau se fait au moyen d'une soupape d'entrée et d'une soupape de sortie qu'on manœuvre à la main avec la plus grande facilité. Les grues pivotantes sont munies d'un petit cylindre alimenté de la même manière et qui produit à volonté le mouvement de rotation.

Puissance des grues et monte-charges. — La puissance des grues qu'on emploie dans les diverses gares varie dans des limites très-étendues ; généralement, sous les halles, on emploie des grues de 1 tonne et demie. Dans les magasins, on emploie des monte-charges de la même puissance. Sur les quais, il y a des grues de 10 et même de 20 tonnes.

Dans le cas particulier où les diverses voies des gares sont à des niveaux différents, on se sert aussi de ponts mobiles qui soulèvent des waggons tout chargés au moyen de pistons appliqués directement sous ces ponts.

Conduits à préserver contre la gelée. — Presque partout les conduites et les machines sont posées sous le sol pour être à l'abri

de la gelée. Quand on a été obligé de renoncer à cette disposition, il a fallu recourir à l'emploi d'enveloppes, prescrire la mise en vidange des appareils la nuit, et, malgré toutes ces précautions, il y a eu quelquefois des ruptures.

A part cet inconvénient, qu'il est presque toujours facile d'éviter, les appareils que nous avons examinés nous ont paru présenter toutes les conditions d'une marche facile et régulière. Avec ces machines, les chargements et déchargements sont extrêmement rapides et on peut, sur un espace très-restreint, satisfaire à un mouvement de marchandises considérable.

L'emploi n'en est du reste avantageux qu'autant que le mouvement est assez actif pour que l'économie faite sur la main-d'œuvre, et celle faite sur l'intérêt du capital comparé aux achats de terrain, couvrent l'intérêt du capital des machines.

GARES INTERMÉDIAIRES

Composition et disposition des stations intermédiaires considérées dans leur ensemble.

Classification. — Les stations intermédiaires se subdivisent, avons-nous dit, en :

Stations de 1re classe ;

Stations de 2e ou 3e classe.

Tous les convois s'arrêtent aux stations de 1re classe ; une partie seulement à celles de 2e ou 3e classe.

Les stations de 1re classe présentent entre elles de grandes différences quant à l'importance du service.

Ainsi les grandes stations de Huntsbanck, sur le chemin de Liverpool à Leeds, et celle de Derby, sur le chemin de Londres à Leeds, représentées dans l'ancien *Portefeuille*, sont, à proprement parler, des stations de 1re classe, puisque l'une peut être considérée comme station intermédiaire des chemins de Londres et Birmingham à Leeds, qui s'y croisent.

D'un autre côté, eu égard à leur grande importance, on pourrait dire aussi que ce sont des gares centrales formées par la réunion de plusieurs gares d'arrivée et de départ.

Ainsi, en se plaçant à ce point de vue, la gare de Derby serait la réunion des gares d'arrivée et de départ des chemins de Derby à Londres, Derby à Leeds et Derby à Birmingham ; celle de Huntsbank, la réunion des gares de départ et d'arrivée des chemins de Liverpool à Manchester et de Manchester à Leeds.

Ces stations des chemins anglais, de même que les stations de Metz et de Nancy sur le chemin de Paris à Strasbourg, celles de Creil et Amiens et de Lille sur le chemin du Nord, d'Orléans, de Tours et de Nantes sur le chemin de Paris à Bordeaux, doivent être considérées comme des stations intermédiaires d'une importance telle, qu'on doit les assimiler à des stations extrêmes et les décrire séparément.

Disposition des voies. Position des aiguilles. — Passant à l'étude des stations intermédiaires, nous nous occuperons d'abord de la disposition des voies. L'usage était anciennement de ne lier, dans les gares intermédiaires, les voies latérales aux voies principales que par une de leurs extrémités, de manière que les machines marchant sur la voie principale ne pussent jamais passer sur la voie latérale qu'en reculant, quelle que fût la position des aiguilles du changement de voie.

Depuis que l'usage des changements de voie à contre-poids s'est répandu, on s'est écarté assez souvent de cette règle, surtout dans les stations de 1re classe, où tous les convois stationnent.

Ainsi, dans la gare de Swindon, du chemin de Londres à Bristol, dans la gare de Coventry, chemin de Londres à Birmingham, dans celle de Normanton, chemin de Leeds à Derby, et dans les gares intermédiaires d'un grand nombre d'autres chemins de fer d'Angleterre, on trouve, entre les trottoirs d'arrivée et de départ, quatre voies : les deux voies du milieu, qui sont les voies principales, et les deux voies latérales, qui sont reliées par les deux extrémités aux voies principales.

Les convois des marchandises s'arrêtent seuls sur les voies principales ; les convois de voyageurs passent toujours sur les voies latérales le long des trottoirs de départ et d'arrivée.

Cette disposition n'est pas sans quelque danger : un aiguilleur ayant un jour, dans la gare de Coventry, ouvert par mégarde la

voie latérale pour un convoi de marchandises, ce convoi est venu se heurter contre un convoi de voyageurs qui stationnait devant le trottoir.

Elle doit, dans tous les cas, être prohibée dans les gares de 2[e] ou 3[e] classe, où les convois passent souvent à de grandes vitesses sans stationner.

Sur le chemin de Strasbourg, on a adopté pour règle générale de placer la pointe des aiguilles dans le sens opposé à la marche des convois, même dans les stations principales.

Dans les stations intermédiaires de quelque importance, on a donné aux voies de garage pour les trains de marchandises assez de longueur pour qu'elles pussent porter deux trains de marchansides en même temps. L'une des voies est juxtaposée à la voie montante, l'autre à la voie descendante, et les trains de marchandises ne peuvent y entrer qu'à reculons.

Sur les chemins anglais, on a reconnu que depuis qu'on avait supprimé, autant que possible, les aiguilles à contre-marche, le nombre des accidents avait considérablement diminué.

Disques indicateurs des aiguilles. — Pour prévenir autant que possible, sur les chemins à une voie, les accidents terribles qui peuvent provenir d'une aiguille mal dirigée, il faut que l'aiguille, en se déplaçant, fasse tourner un disque à une distance convenable. — La position du disque indique la position de l'aiguille. — Quand celle-ci ne doit fonctionner que rarement, il est bon de la cadenasser. Pour certaines aiguilles dont on peut apercevoir le levier de loin on se borne à placer un disque et une lanterne sur le levier qui sert à manœuvrer les aiguilles.

La transmission du mouvement de l'aiguille au disque, s'il est placé à une certaine distance, pouvant ne s'opérer qu'imparfaitement, ou la lampe du disque pouvant la nuit s'éteindre ou jeter une lumière incertaine dans les temps de brouillard, ces précautions ne suffisent pas.

Quand les trains desservent les stations, celui qui marche sur la voie principale dans la direction de la flèche BA (fig. 284) s'arrête sur cette voie entre les points Y et X, et les trains qui marchent en sens contraire passent sur la voie d'évitement YDCX.

Quant aux trains directs qui ne desservent pas la station, ils marchent quelquefois dans les deux sens sur la voie principale, à la traversée de la station; mais alors une aiguille mal placée peut

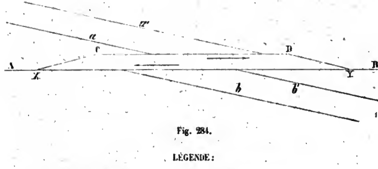


Fig. 284.

LÉGENDE :

AB Voie principale.
ABCD Voie d'évitement.
aa' / bb' } Voie de garage.

diriger le train marchant dans la direction AB sur une voie de garage. Peu s'en est fallu que tout récemment, sur le chemin de Mulhouse, un train ait ainsi dévié.

Aucun appareil, il est vrai, n'indiquait la position de l'aiguille.

On courrait moins de risques en dirigeant les trains directs, marchant dans la direction AB, sur la voie d'évitement, comme cela se fait maintenant sur les sections à une voie des chemins de l'Est, le service sur les deux voies de la station ayant lieu alors comme sur un chemin à deux voies, de manière que les aiguilles des voies de garage ne présentent jamais leurs pointes aux convois en marche.

Un contre-poids, placé sur le levier de l'aiguille, tiendrait constamment la voie principale ouverte. L'inverse aurait lieu pour l'aiguille Y.

On objecte à cette manœuvre que le train direct, marchant dans la direction AB à grande vitesse, éprouvera, au passage de l'aiguille X, une violente secousse. On pare à cet inconvénient en donnant une grande longueur à cette aiguille, et en prescrivant aux mécaniciens de ralentir au passage dans la voie d'évitement.

Voies de garage. — Il est très-important d'établir à chaque station des voies de garage suffisantes au point de vue du nombre

et de la largeur. Il faut que, dans aucun cas, les trains ne soient obligés de stationner sur la voie principale. C'est là une condition essentielle à remplir pour prévenir les accidents.

Heurtoirs mobiles. — Il ne faut pas négliger de placer sur les voies d'évitement des calles ou heurtoirs mobiles pour arrêter les waggons qui, par les temps d'orage, sont poussés par le vent. On a vu, faute de calles, des waggons poussés ainsi de la voie de garage sur la voie principale et devenir la cause d'accidents.

Heurtoirs fixes. — Il est nécessaire également, pour prévenir les accidents, de placer un heurtoir solide à l'extrémité de la voie ou au moins un tas de terre d'une hauteur et d'une épaisseur suffisantes pour arrêter les waggons. On peut encore relever l'extrémité des rails des voies de garage afin d'arrêter la marche des waggons et les empêcher de passer ainsi sur une autre voie ou de dérailler.

Coupements de voie. — Sur certains chemins, on ne fait aucune difficulté pour poser des voies obliques coupant les voies principales; sur d'autres, les ingénieurs répugnent à interrompre les voies principales par des croisements de voie qui, toujours difficiles à entretenir, peuvent, s'ils sont en mauvais état, occasionner des accidents. Ils préfèrent multiplier les aiguilles. Les croisements sur les voies principales ne nous paraissent pas très-dangereux dans les stations principales où tous les convois s'arrêtent. Nous croyons qu'on peut, dans tous les cas, les admettre sur les chemins d'importance secondaire, consacrés plutôt au transport des marchandises qu'à celui des voyageurs. Ils facilitent beaucoup les manœuvres.

On peut remplacer les deux voies par une voie unique placée entre les voies principales (fig. 285). Mais il nous semble préférable de rejeter sur le côté, toutes les fois que cela peut se faire, les voies de garage des convois de marchandises : la gare est moins obstruée et le chef de gare exerce son inspection beaucoup plus facilement. Si, malgré cela, on établit encore une troisième voie intermédiaire, elle devient alors voie de dégagement des machines, et elle sert, dans le cas particulier des convois spéciaux, au garage des trains de voyageurs.

A côté des voies de garage pour les trains de marchandises, il est nécessaire de poser une voie de dégagement pour les vaggons

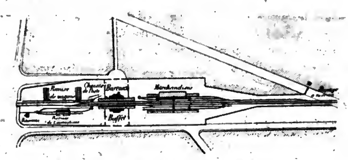


Fig. 285. — Gare de Château-Thierry.

vides. Il est essentiel aussi de ne pas négliger, dans les stations intermédiaires du premier ordre où se trouve un dépôt, d'établir un certain nombre de voies pour le service des machines. Nous avons déjà indiqué, en parlant des gares extrêmes, la disposition de ces voies.

Voies principales. — Les voies d'arrivée et de départ étant établies entre les trottoirs, le bâtiment des salles d'attente pour le départ est ordinairement placé du côté de la ville que dessert la station, et les voyageurs qui arrivent sont obligés de traverser les deux voies pour se rendre en ville. Au chemin de Bristol, pour éviter aux voyageurs la traversée des voies, qui cependant paraît être sans danger, on a imaginé, pour certaines stations, celle de Windsor, par exemple, une disposition assez curieuse que nous allons décrire.

Du côté de la ville, on a établi deux trottoirs, T et T′ (fig. 286),



Fig. 286. — Gare de Windsor.

et, à côté de chacun de ces trottoirs, un bâtiment contenant un bureau pour la distribution des billets, des salles d'attente et accessoires.

Le bâtiment B et le trottoir T servent aux voyageurs qui se rendent par la voie V de Windsor à Bristol ou à l'une des stations placées entre Windsor et Bristol. Le convoi venant de Londres passe sur la voie de garage V″ pour les recueillir, et reprend ensuite la voie V. Le bâtiment B′ et le trottoir T′ servent pour les voyageurs circulant en sens contraire sur la voie V′ de Windsor vers Londres. Le convoi venant de Bristol passe alors sur la voie de garage V‴, et, après avoir stationné devant le trottoir T′, reprend la voie V′.

Cette disposition nous semble tout à fait vicieuse : elle exige non-seulement double bâtiment pour les bureaux de distribution des billets, bureaux de bagages, salles d'attente, etc., mais encore double trottoir et accroissement du personnel pour le service de la station.

Une partie des changements de voie tournent leurs pointes du côté du mouvement et les machines traversent les voies, ce qui peut occasionner des accidents tout aussi bien que si la traversée était effectuée par les voyageurs.

Sur le chemin de Versailles, rive droite, plusieurs voyageurs ayant été tués en cherchant à traverser les voies, on a construit de petits ponts au moyen desquels on peut passer d'un trottoir à l'autre par-dessus le chemin. Sur quelques chemins anglais, on a établi des ponts semblables en les couvrant et les fermant sur les côtés.

Ces ponts peuvent être utiles sur des chemins, comme le chemin de Versailles, où les convois passent en très-grand nombre et inopinément. Leur usage sur de grandes lignes paraît assez coûteux et gênant pour le service. Sur les chemins du réseau de l'Est, il n'est arrivé jusqu'à présent aucun accident qui en fasse sentir la nécessité.

Sur le chemin d'Auteuil, on a adopté, dans le même but, une disposition fort ingénieuse que nous devons décrire. Ce chemin se trouvant presque entièrement en tranchée, le bâtiment des salles d'attente, comme le représentent les fig. 287 et 288, est placé au-dessus des voies à une hauteur telle, que les locomotives peuvent passer dessous. On arrive aux salles d'attente de plain-pied et l'on descend pour le départ sur les trottoirs par des escaliers qui, par-



1er TYPE.

A Route.
B Bâtiment de la station.
CC Annexes.
D Abri pour les bagages.
E Halle à marchandises.
F Remise de voitures.
G Écuries et remises.
H Remise de train.
I Remise de machines.
J Abri des voyageurs.
K Abri des bagages.
L Quai à chevaux et à chaises de poste.

2e TYPE.

A Route.
B Bâtiment de la station.
CC Annexes.
D Abri pour les bagages.
E Halle à marchandises.
F Remise de waggons.
G Écuries et remises.
J Abri des voyageurs.
K Abri des bagages.
M Quai à chevaux et à chaises de poste.

3e TYPE.

A Route. B Bâtiment de la station. E Halle à marchandises. J Abri des voyageurs.

Fig. 290, 291, 292. — Stations du chemin de fer de l'Ouest.

des dimensions suffisantes en largeur pour le service des stations du premier ordre sans écarter les voies outre mesure ; cette disposition se prête mal à l'établissement d'un abri pour préserver les voyageurs de la pluie au moment où ils entrent dans les voitures et oblige à courber les voies aux abords de la station, ce qui force à diminuer la vitesse des trains directs. Enfin elle n'est pas sans danger quand deux trains se croisent dans la station même. Au chemin de Nancy à Sarrebruck, sur lequel on l'avait d'abord adoptée, la Compagnie y a reconnu pendant l'exploitation des inconvénients tels, qu'elle n'a pas hésité à faire une dépense assez considérable pour revenir à la disposition ordinaire.

Les figures 2.0, 291 et 292, représentent les trois types adoptés au chemin de fer de l'Ouest pour la disposition des voies et des bâtiments.

Stations intermédiaires hors classe. — Les stations hors classe ont, pour la composition et la disposition des voies, une grande analogie avec les stations extrêmes.

La station de Metz (fig. 293), sur le chemin de fer de l'Est, est

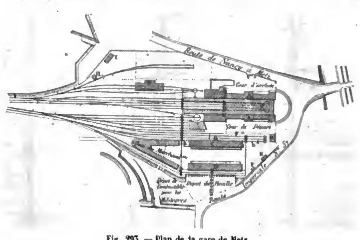


Fig. 293. — Plan de la gare de Metz.

AA'	Bâtiment des voyageurs,	G	Remise de machines.
B	Bureau de la douane.	H	Réservoir.
C	Halle à marchandises (départ).	I	Magasin de la voie.
D	Id. (arrivée).	a	Bascule.
E	Bureau des expéditions.	b	Grue Arnoux.
FF'F''	Latrines.		

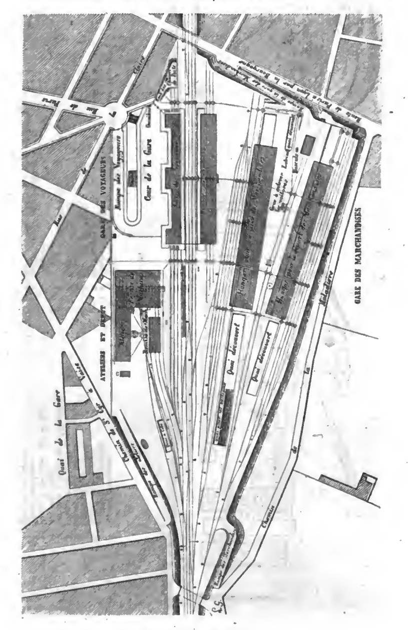


Fig. 294. — Gare de Lyon-Vaise.

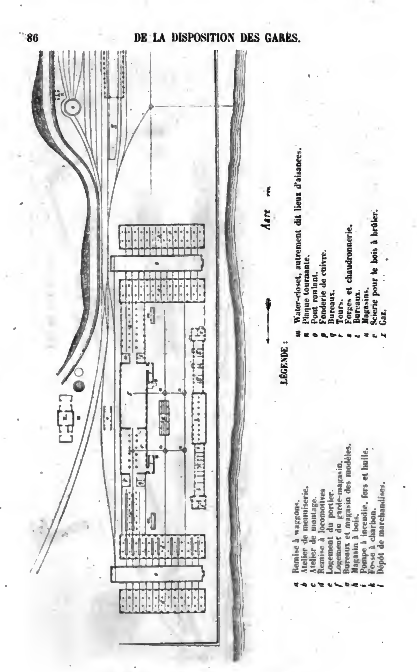


Fig. 295. — Gare d'Olten. Ateliers de construction.

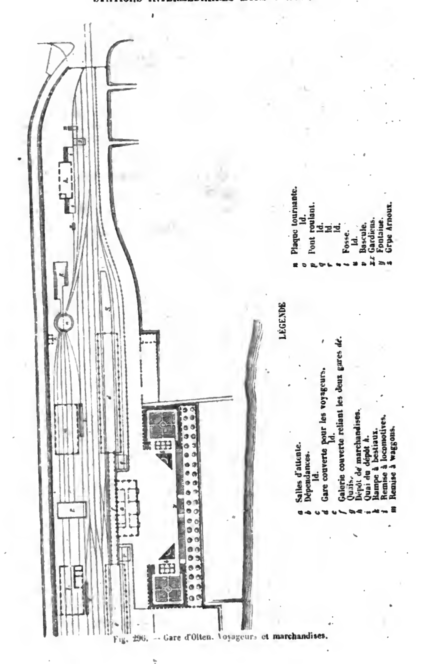


Fig. 296. — Gare d'Olten. Voyageurs et marchandises.

une station de ce genre (*voy.* plus loin fig. 328 le plan du bâtiment principal), ainsi que la station de Lyon-Vaise, fig. 294, qui est fort bien disposée pour le service des voyageurs, des marchandises et de la traction.

Stations aux embranchements. — Quand la station intermédiaire se trouve au point de croisement et de réunion de plusieurs chemins de fer, comme celle de Swindon, sur le chemin de fer de Bristol, en Angleterre; de Frouard, sur les chemins de fer de l'Est français; d'Olten, sur les chemins suisses; d'Ulm, sur les chemins de fer wurtembergeois ou de Hambourg, le bâtiment principal ou un grand trottoir se trouve compris entre les voies.

Les fig. 295 et 296 représentent la gare d'Olten; la fig. 297 la gare de Swindon, la fig. 298 celle de Frouard. — Le plan de la



Fig. 297. — Gare de Swindon.

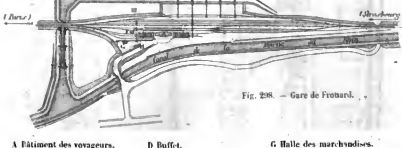


Fig. 298. — Gare de Frouard.

A Bâtiment des voyageurs.
B Remise pour 4 machines.
C Petit atelier ou logement.
D Buffet.
E Remise do waggons.
F Réservoir.
G Halle des marchandises.
H Corps de garde des hommes d'équipe.

gare d'Ulm, donné par M. Etzel, qui a dressé aussi celui de la gare d'Olten, est tout à fait semblable à ce dernier.

Les voies, dans les stations belges et allemandes, sont générale-

ment disposées de la même manière que dans les stations des chemins de fer français.

A Niagara (Etats-Unis), il y a une gare de voyageurs commune aux chemins de New-York et de Buffalo; cette gare est disposée;

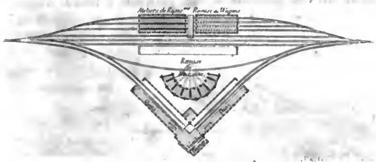


Fig. 299. — Gare de voyageurs de Niagara.

comme l'indique la fig. 299 en forme d'équerre; les salles d'attente sont communes aux deux chemins.

Les gares de marchandises sont composées de hangars dont les dimensions en longueur et largeur sont proportionnées à l'importance de la localité. Les voitures et les waggons sont abrités par des auvents dans le prolongement du toit.

Entre la voie principale et le hangar à marchandises, il y a une ou plusieurs voies, suivant les localités.

Les remises de locomotives sont ordinairement rectangulaires : sur quelques chemins, ce sont des remises en fer à cheval. On évite, autant que possible, de passer sur des plaques tournantes pour remiser.

A la gare de Baltimore, au chemin de Baltimore à Ohio, on a établi des remises de locomotives entre deux voies parallèles écartées de 22 mètres; elles sont placées sur deux voies qui forment avec celles qui sont parallèles des angles de 30° (fig. 300); sur chaque voie oblique, on remise une machine et l'on ajoute successivement des remises au fur et à mesure des besoins. En outre, il existe deux voies de rebroussement *a b* et *b c*, au moyen desquelles on peut, comme on le voit, retourner les machines bout pour bout sans employer de plaques tournantes.

Les plaques tournantes ont 13^{m},70 de diamètre; elles sont composées de deux longrines en bois réunies entre elles par des traverses supportées au milieu par un pivot et à leurs extrémités par des galets en fonte que l'on fait mouvoir au moyen de roues dentées sur un cercle de roulement en fonte placé dans le fond de la fosse,

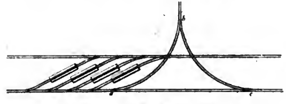


Fig. 300. — Gare de Baltimore à Ohio.

dont la hauteur a environ 1^{m},50. Les manivelles à l'aide desquelles on met la plaque en mouvement sont placées en dehors de la plaque au bord de la fosse.

A New-York, les embarcadères des différentes lignes de chemins de fer se trouvent situés au centre de la ville, dans le voisinage du port. Pour les lignes des chemins de Hudson, River et de Boston, qui ont à la traverser dans sa plus grande longueur, on décompose les trains et on les fait remorquer par des chevaux au trot, voiture par voiture, sur plusieurs kilomètres de distance, depuis l'embarcadère jusqu'à l'entrée de la ville et réciproquement, en suivant les différentes rues qui sont ordinairement très-fréquentées par des voitures de toute espèce et par des piétons. Ces voitures, qui ont 15 mètres de longueur, tournent facilement, par suite de leur disposition, dans des courbes de 20 mètres de rayon.

Les rues de New-York, dans lesquelles passent ces convois, ont de 8 à 10 mètres de largeur de chaussée entre les trottoirs, qui ont 6 mètres de largeur.

Emplacement du bâtiment. — Quand le chemin est en déblai, le bâtiment contenant les bureaux de distribution des billets, les salles d'attente et leurs dépendances, est placé arbitrairement sur le côté, au sommet du talus, sur le talus même, au pied du talus, où enfin entre les deux talus à une certaine hauteur, comme au chemin d'Auteuil.

Si le chemin est en remblai, on peut le placer également au pied du remblai, sur le talus ou sur la crête du remblai.

Enfin, si le chemin est en viaduc, on peut l'établir sous les voies, comme au chemin de Montpellier à Nîmes, ou à côté du viaduc.

En général, lorsque la station est de quelque importance et que le bâtiment n'est pas établi au-dessus des voies, comme sur le chemin d'Auteuil, il faut le placer au pied des talus, dans les tranchées ou sur la crête des remblais, en ménageant des rampes pour y parvenir en voiture.

A Coventry, on a abandonné les bâtiments placés au sommet des talus pour les remplacer par d'autres construits à une petite distance du fond de la tranchée.

En Angleterre et en France, les voies, sur une grande partie de la longueur des stations intermédiaires, sont toujours bordées de trottoirs.

Les omnibus et autres voitures qui amènent ou emmènent les voyageurs stationnent dans les cours latérales.

On a adopté, autant que possible, des dispositions telles, que les voyageurs puissent descendre de voiture ou y monter à couvert.

Composition et disposition des stations intermédiaires considérées dans leurs détails.

Les stations intermédiaires de 1re classe contiennent toujours, outre le bâtiment des salles d'attente, avec ses dépendances :

Un réservoir d'eau et des grues hydrauliques;

Une remise pour deux locomotives au moins;

Une remise de waggons;

Des urinoirs.

Souvent :

Un embarcadère pour les chevaux et voitures;

Un embarcadère pour les marchandises;

Un embarcadère pour les charbons;

Des magasins et hangars divers pour le service des marchandises et des charbons.

Quelquefois :

Des ateliers de réparation plus ou moins vastes.

Ce n'est pas seulement près du bâtiment des salles d'attente ou dans ce bâtiment même qu'il convient d'établir des lieux d'aisance et des urinoirs; on en place également sur le trottoir opposé. Cela est absolument nécessaire dans toutes les stations où les convois s'arrêtent assez longtemps pour permettre aux voyageurs de descendre des voitures.

Dans les petites stations où les trains ne stationnent qu'une ou deux minutes, il suffit d'établir des cabinets près du bâtiment pour les voyageurs qui arrivent ou qui attendent le train.

Il faut encore des urinoirs dans les cours extérieures des stations de 1[re] et de 2[e] classe.

Les chevaux et les chaises de poste sont chargés sur des voies latérales communiquant avec les voies principales par des changements de voie et par des plaques tournantes.

Il en est de même des marchandises : les hangars sont placés latéralement, soit parallèlement aux voies, soit perpendiculairement. Dans les gares intermédiaires, où le personnel est peu nombreux et où le chargement des waggons est moins varié que dans les gares extrêmes, il faut toujours les placer parallèlement.

Dans les stations où le trafic du charbon de terre doit avoir quelque importance, il faut établir des estacades pour le déchargement des waggons à trappes, ou des quais élevés pour transborder facilement le charbon des waggons à bords tombants dans d'autres waggons ou dans des tombereaux stationnant le long du quai.

Le service des houilles se place assez ordinairement à l'extrémité des hangars de marchandises opposée à la station des voyageurs et sur le prolongement même des voies de marchandises; mais il est indispensable alors d'isoler ces deux services au moyen de changements de voie et de leur ménager des issues séparées.

Quand le transbordement des houilles se fait sur un quai séparé, il y a nécessité de donner aux voies un très-grand développement.

Des cours spéciales fermées, plus ou moins vastes, doivent être réservées en avant des halles ou des trottoirs découverts pour le

service des marchandises, et même en avant des trottoirs pour le service des chaises de poste.

Nous avons indiqué que l'on trouve dans certaines stations principales des buffets et restaurants.

Ces buffets sont diversement espacés. Au chemin du Nord, on en trouve à Creil, Amiens, Douai, Arras, Valenciennes, Lille, etc. Au chemin de Strasbourg, il en a été établi à Meaux, Château-Thierry, Bar-le-Duc, Nancy, Metz, Sarrebourg et Strasbourg.

Certaines stations de 2e classe renferment aussi, comme celles de 1re classe, un réservoir d'eau et des grues hydrauliques, une remise pour locomotives, une remise de waggons, un embarcadère pour les chevaux et les voitures, un embarcadère couvert pour les marchandises d'une certaine valeur, et des trottoirs découverts pour le chargement et le déchargement des charbons, des pierres et des autres marchandises analogues; il est rare cependant que l'on trouve des remises de locomotives et de waggons dans les stations de 2e classe, on y rencontre plus souvent des embarcadères pour les marchandises.

Dans les stations voisines des frontières, il est nécessaire de consacrer une partie des bâtiments au service des douanes. Les salles de douanes doivent se trouver généralement du côté de la voie qui mène à la frontière, puisque c'est toujours à la sortie que la visite a lieu. Ces salles sont divisées en deux compartiments : l'un pour la visite des voyageurs de 1re et de 2e classe, l'autre pour celle des voyageurs de 3e classe.

Signaux. — Il est très-important d'établir dans toutes les stations des signaux convenablement disposés à une distance suffisante, soit 800 mètres au moins.

Il faut éviter soigneusement de placer dans les gares des bâtiments qui pourraient en masquer l'entrée au mécanicien.

Marquises et abris. — Au chemin de fer de Lyon et sur le chemin de Strasbourg, de Vitry à Strasbourg, le trottoir contigu au bâtiment des salles d'attente n'est couvert que sur une partie de sa largeur par une marquise; le second trottoir ne l'est pas du tout, mais on a construit à la partie postérieure un bâtiment fermé où les voyageurs peuvent s'abriter.

Au chemin de fer de l'Est, dans toutes les stations de premier et de deuxième ordre récemment construites, les deux trottoirs sont entièrement couverts par des marquises supportées par des colonnes et s'étendant jusqu'au-dessus des voitures.

Au chemin d'Orléans, on a déjà placé des marquises de ce genre dans plusieurs stations, et l'on se propose d'en construire dans toutes celles qui ont quelque importance. On a projeté pour la station d'Étampes des marquises de 120 mètres de longueur.

Cette seconde disposition (chemin de l'Est) *nous semble bien préférable à celle qu'ont adoptée les ingénieurs du chemin de fer de Lyon.*

Les voyageurs sont ainsi abrités jusqu'au moment où ils se trouvent placés dans les voitures et immédiatement au moment où ils en sortent, toutes les fois que le convoi est arrêté devant la marquise.

Dans le cas des bâtiments servant d'abri, les voyageurs sont obligés de traverser, exposés à la pluie, une partie plus ou moins large du trottoir.

Les marquises sont moins coûteuses[1] d'établissement que les bâtiments servant d'abri, et, placées symétriquement sur les deux trottoirs, elles sont d'un aspect bien plus satisfaisant.

On a fait cette objection au système des marquises qu'on ne pouvait, sans des dépenses excessives, leur donner assez de longueur pour que toutes les voitures de certains convois pussent s'arrêter vis-à-vis.

La critique est fondée; mais, les voitures de 1re et de 2e classe étant ordinairement placées au centre du convoi, les seuls voyageurs de 3e classe pourraient occasionnellement être forcés de monter dans les voitures ou d'en descendre sur une portion du trottoir qui ne serait pas abritée, et le trajet qu'ils auraient à faire de la partie abritée à la voiture ou de la voiture à la partie abritée ne serait que fort court.

On a encore objecté que les voyageurs seraient imparfaitement abrités lorsque la pluie serait chassée obliquement par le vent,

[1] Voir aux documents une note sur le prix d'établissement des marquises.

L'observation serait juste si les voyageurs se tenaient sur le devant de la marquise ou si elle était trop élevée; mais, comme on ne lui donne que la hauteur nécessaire, les voyageurs se retirant à la partie postérieure sont toujours suffisamment préservés. Ce cas d'ailleurs se présentera rarement.

On a dit enfin que la marquise, pour couvrir entièrement un trottoir d'une certaine longueur, devait être supportée par des colonnes qui gêneraient dans le service. C'est à tort que l'on a supposé que ces colonnes peuvent devenir une cause d'embarras pour les voyageurs. Lorsqu'on a soin de les placer à 1 mètre ou $1^m,50$ des bords du trottoir, comme sur les chemins anglais et au chemin d'Orléans, et de les écarter, autant que possible, les unes des autres, le service n'en souffre aucunement.

Les ingénieurs du contrôle, qui s'opposent généralement à ce qu'on permette aux voyageurs de sortir des salles d'attente avant le passage du convoi lorsque le trottoir n'est pas couvert et que les voyageurs n'y sont pas renfermés dans un espace limité, tolèrent, au chemin du Nord, à Enghien, l'admission des voyageurs sous une marquise entre des barrières éloignées de 2 mètres environ des bords du trottoir. On a pu de cette manière, bien que la station d'Enghien soit, en été, très-fréquentée, se contenter de salles d'attente fort petites ($54^m,30$ carrés).

Au chemin de Strasbourg, les chefs de station ont déclaré que, partout où il existe des bâtiments-abris, les voyageurs n'en font que très-rarement usage, en sorte qu'on est conduit à en changer la destination et à les convertir en magasins.

Il convient aussi d'établir des marquises du côté des cours, afin que le chargement des voitures et des omnibus puisse se faire à couvert.

Il faut, dans tous les cas, couvrir la portion du trottoir devant laquelle se trouvent ordinairement arrêtés les waggons à bagages.

Au chemin de l'Ouest on ne couvre le trottoir que du côté du bâtiment principal. — De l'autre côté du bâtiment principal on place une espèce d'abri que l'on peut fermer en hiver et ouvrir en été, et qui n'est séparé du bord du trottoir que par une bande de terrain de $2^m,10$ de largeur. (*Voy.* la fig. 290, page 83.)

Rien ne paraît plus facile que de couvrir cette bande de terrain et d'étendre la marquise sur une certaine longueur à droite et à gauche de l'abri.

Au même chemin, on établit des abris spéciaux pour les bagages près des extrémités des trottoirs.

Dans les stations comme celle d'Épernay, au chemin de Strasbourg, et celle de Creil, au chemin du Nord, celle de Mâcon, au chemin de Lyon, où plusieurs trains se croisent ou stationnent un certain temps et où l'on traverse souvent les voies, on couvre non-seulement les trottoirs, mais encore les voies intermédiaires au moyen de halles, comme dans les grandes stations.

On trouve dans certaines stations principales des buffets ou restaurants.

Sur les grandes lignes les convois s'arrêtent toujours pendant quinze ou vingt minutes au moins dans ces stations.

Emplacement des buffets. — *Le bâtiment contenant le buffet doit être placé de préférence du côté de la ville, afin que l'on puisse y arriver facilement.*

L'entrepreneur du buffet de Nancy a demandé avec instance que le buffet ne fût pas établi du côté opposé.

Urinoirs et latrines. — On doit toujours, dans les stations où les trains stationnent un certain temps, établir des urinoirs et des latrines de dimension suffisante des deux côtés de la voie.

Dans les stations où les trains ne s'arrêtent que pendant une ou deux minutes, il faut en établir aussi, mais de dimension beaucoup plus petite et du côté de la station seulement. Ils ne servent alors qu'aux voyageurs qui attendent le train ou aux voyageurs qui descendent à la station.

Les urinoirs et les latrines, sur les chemins à deux voies, doivent être placés à une petite distance du bâtiment de la station (3 à 4 mètres au plus), à l'arrière des trains qui s'arrêtent à la station. S'ils étaient placés en avant les voyageurs seraient obligés, pour y parvenir, de passer devant le waggon à bagages placé en tête du train, ce qui nuirait au service.

Les urinoirs et les latrines, ventilés comme ils le sont généralement en Angleterre, bien alimentés d'eau et proprement tenus, ne

donnent aucune odeur. Il ne saurait donc, dans ce cas, y avoir aucun inconvénient à les rapprocher du bâtiment de la station.

Les marquises couvrant le trottoir doivent toujours s'étendre jusqu'aux latrines.

On doit trouver dans toutes les stations de quelque importance quelques cabinets avec siéges très-proprement tenus. Indépendamment de ces cabinets il convient d'établir, pour le public d'une certaine classe, des latrines à la turque ou autres latrines dans un système analogue.

Les portes des urinoirs et latrines doivent être placées de préférence sur le côté, de telle façon que les urinoirs soient entièrement masqués par un mur.

L'entrée pour les dames doit être parfaitement distincte de celle des hommes. Il est bon de l'indiquer par des écriteaux en évidence ou de toute autre manière.

Les urinoirs en lave sont ceux qui se maintiennent le plus propres. Ils dispensent des conduites en zinc, qui exigent des soins journaliers et coûtent fort cher d'entretien.

L'établissement des water-closets intérieurs nous paraît utile, même dans les stations de troisième classe; mais nous pensons qu'il convient que, dans ce cas, ils soient accessibles à tous les voyageurs, comme au chemin de fer de l'Est.

Fosses à piquer le feu. — Les fosses à piquer le feu, placées aux points où stationnent les machines à l'extrémité des trottoirs, deviennent une cause d'accidents assez fréquents pour les voyageurs qui traversent les voies.

On a essayé différents moyens pour empêcher ces accidents, tels, par exemple, que de poser entre les voies, le long des fosses, des petites barrières, de fermer les fosses à l'aide d'une trappe mobile, etc.

Ces dispositions, gênant dans le service, ont été abandonnées; on se borne à éclairer la fosse la nuit, en plaçant une petite lampe dans le fond à chacune des extrémités ou à une extrémité seulement. Le jour, les employés de la station préviennent les voyageurs du danger.

Composition et distribution intérieure du bâtiment principal des stations et des bâtiments annexes.

Le bâtiment des salles d'attente doit toujours contenir, outre les salles d'attente, un vestibule, un bureau pour la distribution des billets, une salle pour le dépôt des bagages ou des marchandises expédiés à grande vitesse;

Un magasin pour les bagages ou marchandises adressés bureau restant;

Un bureau pour le chef de la station;

Un bureau pour le sous-chef;

Un cabinet pour le commissaire de surveillance;

Un logement pour le chef de la station, et même, s'il est possible, pour le sous-chef.

Des lieux d'aisance et des urinoirs pour les voyageurs doivent être établis dans un petit bâtiment séparé et dans l'intérieur même du bâtiment.

La lampisterie, un cabinet pour la préparation des chaufferettes et le bureau des employés de la voie sont placés tantôt dans le bâtiment des salles d'attente, tantôt dans un bâtiment séparé. On y joint quelquefois une salle pour les facteurs.

Le logement du chef de la station, placé ordinairement au premier étage, doit se composer de quatre pièces au moins, d'une cuisine et d'une cave. Il doit toujours renfermer des lieux d'aisance spéciaux.

Les portes par lesquelles on entre dans les salles d'attente doivent être disposées de manière qu'un seul homme suffise pour contrôler tous les billets.

Il faut avoir soin de ne ménager qu'une seule issue pour la sortie des voyageurs. Cette sortie se fait très-convenablement par un couloir traversant le bâtiment, comme au chemin de Thionville, et conduisant au vestibule où les bagages sont distribués aux voyageurs, ou par un couloir établi à l'extrémité du bâtiment, comme au chemin de Lyon.

Quand le mouvement est très-actif, cette dernière disposition est

préférable à la première : on évite ainsi la confusion des voyageurs partant et des voyageurs arrivant.

Dans certaines stations, le télégraphe étant manœuvré par un agent du gouvernement et mis à la disposition du public, il convient que l'on puisse du dehors pénétrer dans le cabinet de cet agent.

L'appareil pour la manœuvre du télégraphe électrique est souvent placé dans le bureau du chef de la station; quelquefois il se trouve dans un cabinet voisin.

Comme il est utile que cet employé ne soit pas dérangé quand il manœuvre le télégraphe, nous conseillons de réserver pour cet appareil dans toutes les stations de quelque importance un cabinet séparé.

Distribution du bâtiment. — La fig. 301 représente la distri-

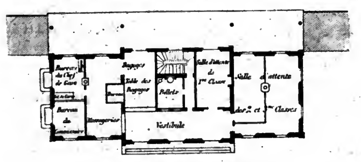


Fig. 301. — Bâtiment des voyageurs de Château-Thierry.

bution du bâtiment des salles d'attente d'une station de 1re classe du chemin de Strasbourg, celle de Château-Thierry.

Les fig. 302 et 303 représentent le plan du rez-de-chaussée des stations de 1re et 3e classe du chemin de Metz à Thionville.

La fig. 304, le plan du rez-de-chaussée des stations intermédiaires du chemin de fer de Chartres.

Sur ce chemin, la salle des lampistes est placée sur le trottoir opposé au trottoir des salles d'attente, dans un petit bâtiment qui renferme aussi des urinoirs et des latrines.

Les fig. 305, 306 et 307 représentent les types des stations in-

termédiaires des chemins du Nord (lignes en construction) et des chemins du Midi.

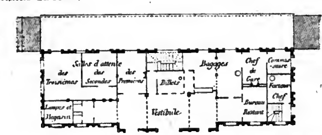


Fig. 302. — Station intermédiaire de 1re classe du chemin de Metz à Thionville.

Enfin les fig. 308 et 309 représentent les types des stations de 1re et de 2e classe du chemin de Paris à Mulhouse, étudiées après l'expérience faite des stations des grandes lignes précédemment construites. Les fig. 310, 311, 312 et 313 représentent les stations de Chelles et de Champigny.



Fig. 303. Station de 3e classe.

La disposition des nouvelles stations de l'Est a beaucoup d'analogie, ainsi qu'on peut le voir à l'inspection des plans, avec celle des anciennes. On a seulement changé l'emplacement des salles d'attente, qui, se trouvant à gauche du bureau des billets, ne permettaient pas d'établir une communication facile entre le bureau des billets et la salle des bagages.

Le bureau du chef de gare a été placé de manière que l'on puisse y arriver aisément du dehors, soit directement, soit en traversant seulement le bureau du sous-chef. La lampisterie a été transportée dans le bâtiment des latrines et remplacée par un bureau de la voie.

Quand ces nouvelles stations ont quelque importance, on a ménagé à l'extrémité du bâtiment un couloir pour la sortie, et on a couvert les deux trottoirs jusqu'au-dessus des voitures.

La distribution intérieure du bâtiment principal et des annexes du chemin de l'Ouest (ligne de Cherbourg) (fig. 314 à 326), nous paraît fort satisfaisante. — Elle diffère peu de celle du bâtiment principal des nouvelles stations du chemin de fer de l'Est.

Nous remarquons seulement :

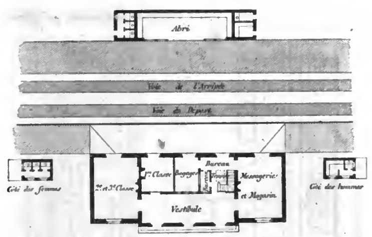


Fig. 304. — Station intermédiaire du chemin de Chartres.

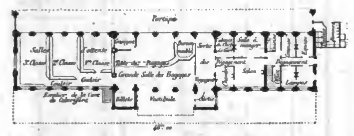


Fig. 305. — Station intermédiaire de 1re classe du chemin du Nord.

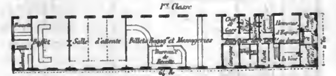


Fig. 306. — Station intermédiaire du chemin du Midi.



Fig. 307. — Station intermédiaire du chemin du Midi.

1° Qu'au chemin de l'Ouest l'escalier conduisant au premier

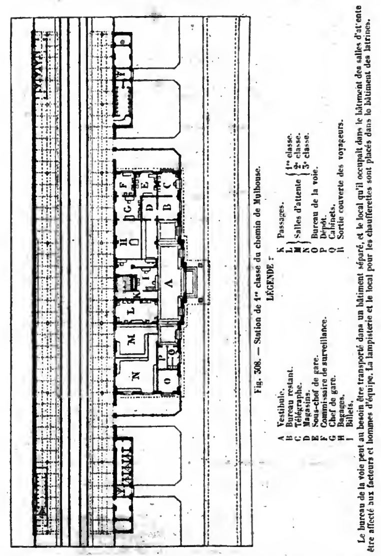


Fig. 308. — Station de 1re classe du chemin de Mulhouse.

LÉGENDE :

A Vestibule.
B Bureau restant.
C Télégraphe.
D Magasins.
E Sous-chef de gare.
F Commissaire de surveillance.
G Chef de gare.
H Bagages.
I Billets.
K Passages.
L, M, N Salles d'attente { 1re classe. 2e classe. 3e classe.
O Bureau de la voie.
P Dépôt.
Q Cabinets.
R Sortie couverte des voyageurs.

Le bureau de la voie peut au besoin être transporté dans un bâtiment séparé, et le local qu'il occupait dans le bâtiment des salles d'attente être affecté aux facteurs et hommes d'équipe. La lampisterie et le local pour les chaufferettes sont placés dans le bâtiment des latrines.

étage n'occupe pas une partie de la façade sur la voie, comme aux chemins de l'Est (station de Meaux) : il est placé du côté du vestibule ;

2° Que le cabinet du commissaire de surveillance, les bureaux

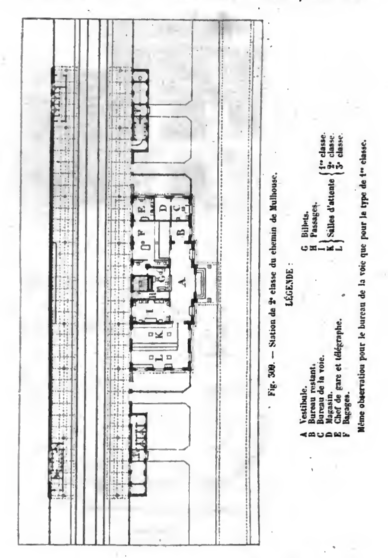


Fig. 309. — Station de 2e classe du chemin de Mulhouse.

LÉGENDE :

A Vestibule.
B Bureau restant.
C Bureau de la voie.
D Magasin.
E Chef de gare et télégraphe.
F Bagages.
G Billets.
H Passages.
I } Salles d'attente { 1re classe.
K } Salles d'attente { 2e classe.
L } Salles d'attente { 3e classe.

Même observation pour le bureau de la voie que pour le type de 1re classe.

pour le télégraphe, etc., etc., sont placés dans un bâtiment annexe, tandis qu'à l'Est ils le sont dans le bâtiment principal.

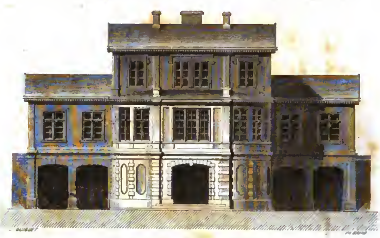


Fig. 310. — Station de Chelles. Élévation.

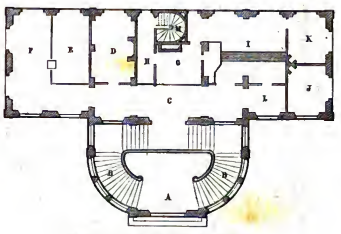


Fig. 311. — Station de Chelles. Rez-de-chaussée.

A Vestibule.
B Billets.
C Bagages.
D Chef de gare.
E Commissaire.

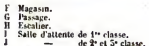

F Magasin.
G Passage.
H Escalier.
I Salle d'attente de 1re classe.
J — de 2e et 3e classe.



Fig. 312. — Station de Champigny. Élévation.

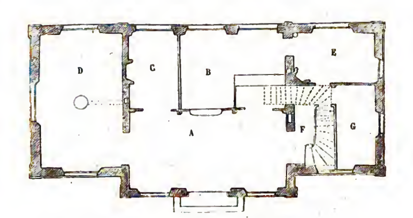


Fig. 313. — Station de Champigny. Rez-de-chaussée.

A Vestibule.
B Billets.
C Salle d'attente de 1re classe.
D — de 2e et 3e classe.
E Chef de station.
F Escalier.
G Magasin.

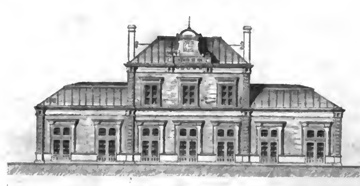


Fig. 314. — Élévation.

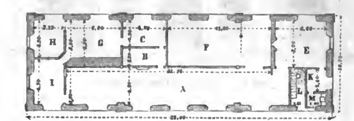


Fig. 315. — 1re classe. Plan du rez-de-chaussée.

A Vestibule.
B Billets.
C Chef de gare.
E Salon de 1re classe.
F Salles d'attente de 2e et 3e classe.
G Service des bagages.
H Bureau restant.
I Bureau d'enregistrement des bagages et de la messagerie.
K Petit salon.
L Escalier.
M Water-closet.

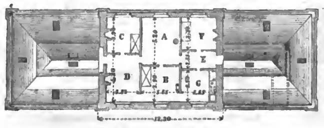


Fig. 316. — 1re classe. 1er étage.

A Salle à manger.
B Chambre à coucher.
C Id.
D Salon.
E Antichambre.
F Chambre à coucher.
G Cuisine.

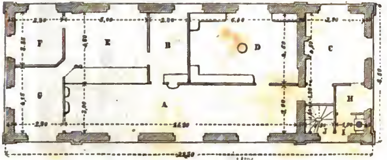


Fig. 317. — 2e classe. Rez-de-chaussée.

A Vestibule.
B Billets.
C Salon de 1re classe.
D Salles d'attente de 2e et 3e classe.
E Service des bagages.
F Bureau restant.
G Enregistrement des bagages.
H Petit salon.
I Water-closet.
J Escalier.

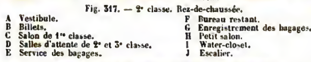


Fig. 318. — 2e classe. 1er étage.

A Salon.
B Salle à manger.
C Chambre à coucher.
D Cuisine.
E Chambre à coucher.
F Antichambre.
G Chambre de bonne.
H Water-closet.

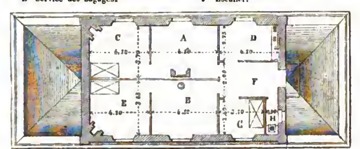


Fig. 319. — 3e classe. Rez-de-chaussée.

A Vestibule.
B Billets.
C Bureau des bagages et de la messagerie.
D Salon de 1re classe.
E Bureau restant.
F Petit salon.
G Escalier.
H Water-closet.

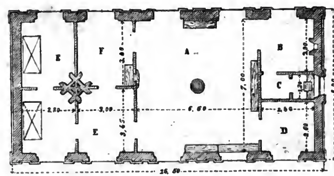


Fig. 320. — 4e classe. Gare de passage.

A Vestibule et salle d'attente de 2e et 3e classe.
B 1re classe.
C Petit salon.
D Bureau restant.
EE Logement du chef de gare.
F Bureau du chef de gare.

Fig. 321. — Bâtiment annexe de gauche. 1re classe, 1er type.

A Direction. Télégraphe de l'État.
B Télégraphe de la Compagnie.
C Pièce pour l'employé de la Compagnie.
D Salle d'attente pour le public.
E Employé de la télégraphie.
F Commissaire.
G Bureau de poste.
H Débarras.
I Charbon.

Fig. 322. — Bâtiment annexe de droite. 1re classe, 1er type.

A Chauffoir de la gare.
B Chauffoir de la locomotive.
C Lampisterie.
D Latrines et urinoirs pour hommes.
E Latrines pour dames et surveillants.
F Latrines et urinoirs publics.

3° Que dans toutes les stations de l'Ouest, quelle que soit la classe à laquelle elles appartiennent, on a établi un water-closet, tandis que dans les stations de l'Est on n'en a placé que dans les stations intermédiaires de 1re classe.

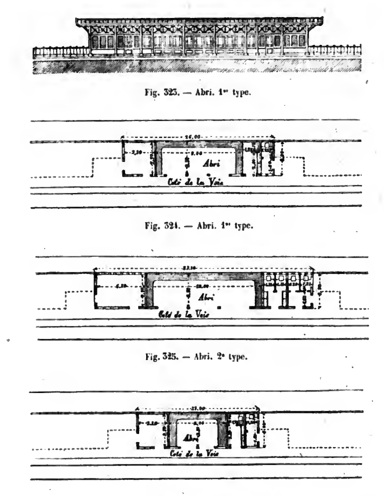


Fig. 323. — Abri. 1er type.

Fig. 324. — Abri. 1er type.

Fig. 325. — Abri. 2e type.

Fig. 326. — Abri. 3e type.

4° Que dans toutes les stations intermédiaires de l'Ouest le wa-

ter-closet est contigu à la salle d'attente des premières, tandis qu'au chemin de l'Est il est dans les stations de 1re classe, accessible à tous les voyageurs.

La disposition en usage à l'Ouest, pour l'établissement de l'escalier, est incontestablement préférable à celle de la station de Meaux; aussi a-t-elle été adoptée dans toutes les stations de l'Est construites l'année dernière (1858); telles que les stations de Champigny et de Chelles, et à la station de Luxembourg, dont les plans ont été arrêtés par l'ingénieur en chef, M. Grenier, de concert avec M. Vuigner et nous-même.

A Épernay, le buffet devait être placé dans le même bâtiment que les salles d'attente. On n'a pu remplir cette condition qu'en ajoutant deux bâtiments en retour d'équerre sur le bâtiment principal, comme l'indique le plan de la station (fig. 327). D'après les projets rédigés par l'architecte de la Compagnie, les bâtiments A, B, D et E ne comportent qu'un rez-de-chaussée. Le bâtiment central C admet un entre-sol et un premier étage. On remarque que le buffet proprement dit, la buvette, la cuisine et l'office, se trouvent dans le bâtiment B, et que le bâtiment en retour A ne renferme qu'une grande salle pour la table d'hôte. Le vestibule de départ, le bureau des billets, etc., sont placés dans le bâtiment central C. Le fermier du buffet et le chef de gare sont logés dans le même bâtiment. Les salles d'attente, un couloir de sortie, un vestibule d'arrivée, etc., occupent les bâtiments D et E.

La construction de cet édifice, y compris la couverture des voies, ne devant pas coûter moins de 590,000 francs, la Compagnie ne l'a pas exécuté dans son entier. Nous avons cru devoir toutefois reproduire les dispositions projetées comme étant parfaitement satisfaisantes, au point de vue du service. Le bureau pour la distribution des billets doit seul être changé. Il doit remplacer celui du commissaire de police, et *vice versa*.

La distribution intérieure des bâtiments des stations hors classe, aussi bien que la disposition des voies de ces stations, se rapproche beaucoup de celle des bâtiments dans les stations extrêmes.

Les stations de Nancy et de Metz (fig. 328) sont de bons modèles de stations de ce genre.

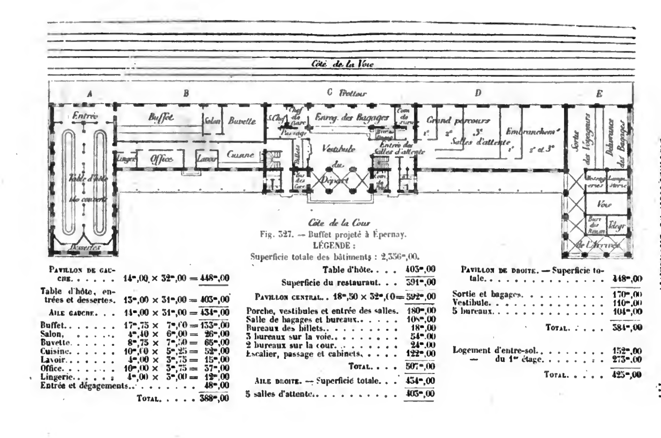


Fig. 327. — Buffet projeté à Épernay.

LÉGENDE :

Superficie totale des bâtiments : 2,336m,00.

Pavillon de gauche	14m,00 × 32m,00 =	448m,00
Table d'hôte, entrées et dessertes.	13m,00 × 31m,00 =	403m,00
Aile gauche	14m,00 × 31m,00 =	434m,00
Buffet	17m,75 × 7m,00 =	133m,00
Salon	4m,40 × 6m,00 =	26m,00
Buvette	8m,75 × 7m,50 =	66m,00
Cuisine	10m,00 × 5m,25 =	52m,00
Lavoir	4m,00 × 3m,75 =	15m,00
Office	10m,00 × 3m,75 =	37m,00
Lingerie	4m,00 × 3m,00 =	12m,00
Entrée et dégagements		48m,00
Total		388m,00

Table d'hôte	403m,00
Superficie du restaurant	391m,00
Pavillon central. 18m,50 × 32m,00 =	592m,00
Porche, vestibules et entrée des salles	180m,00
Salle de bagages et bureaux	108m,00
Bureaux des billets	18m,00
3 bureaux sur la voie	54m,00
2 bureaux sur la cour	24m,00
Escalier, passage et cabinets	122m,00
Total	507m,00
Aile droite. — Superficie totale	434m,00
5 salles d'attente	405m,00

Pavillon de droite. — Superficie totale	448m,00
Sortie et bagages	170m,00
Vestibule	110m,00
5 bureaux	104m,00
Total	384m,00
Logement d'entre-sol	152m,00
— du 1er étage	273m,00
Total	425m,00

La composition du bâtiment des salles d'attente des stations allemandes, belges et suisses, ainsi que la disposition des différentes pièces renfermées dans ce bâtiment, offrent aussi une grande analogie avec celles des mêmes bâtiments sur les chemins de fer français.

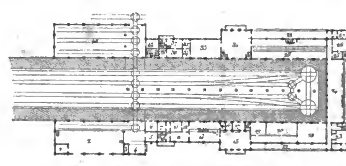


Fig. 328. — Gare de Metz. — Plan du bâtiment des voyageurs.

1 Hommes d'équipe.
2 Quais des messageries.
3 Bureau des messageries.
4 Vestibule des messageries.
5 Bureau restant.
6 Surveillants et gardes-freins.
7 Télégraphe électrique.
8 Escalier du 1er étage.
9 Corridor.
10 Chef de gare.
11 Bureau des réclamations.
12 Sous-chef de gare.
13 Salle d'enregistrement des bagages.
14 Bureau d'enregistrement des bagages.
15 Vestibule d'entrée.
16 Corridor de service de la gare.
17 Distribution des billets.
18 Petit salon et latrines.
19, 20, 21 Salles d'attente { 1re classe. 2e classe. 3e classe.
22 Trottoirs couverts.
23 Logement du concierge.
24 Salle des Pas Perdus.
25 Cabinet du chef de section.
26 Bureau de la voie.
27 Commissaire de surveillance.
28 Salle de distribution des bagages.
29 Bureau de l'octroi.
30 Bureau sans destination.
31 Vestibule de sortie.
32 Bureau de la poste.
33 Buffet.
34 Petit salon.
35 Office
36 Buvette.
37 Cuisine.
38 Magasin de l'exploitation.
39 Escalier du 1er étage.
40 Cabinets pour les dames.
41 Cabinets et urinoirs pour les hommes.
42 Lampisterie.
43 Remises des voitures.

La fig. 329 représente le plan de la station de Gand, l'une des plus importantes des chemins belges; la fig. 330 celle de la station de Vilworde, appartenant aux mêmes chemins; la fig. 331 une des stations de second ordre des chemins de fer badois. Le bâtiment de la station badoise est surmonté d'un étage dans toute son étendue. La fig. 332 enfin nous fait connaître la disposition d'une station de 1re classe du chemin de fer central suisse, celle de Herzogenbuchsee.

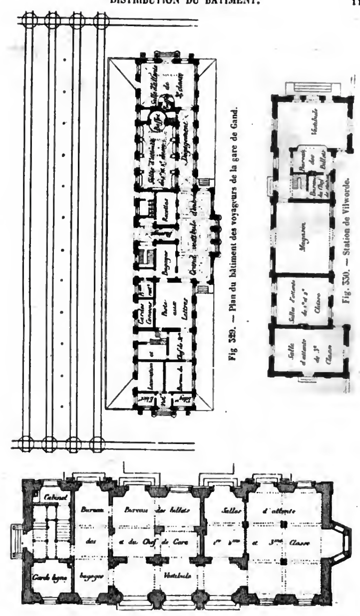


Fig. 329. — Plan du bâtiment des voyageurs de la gare de Gand.

Fig. 330. — Station de Vilworde.

Fig. 331. — Station du second ordre des chemins de fer badois.

Nous n'avons parlé que de nos chemins de fer d'Europe.

Aux États-Unis, les trottoirs des stations principales des voya-

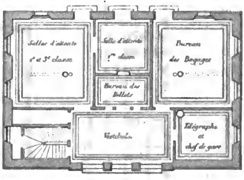
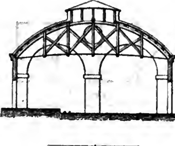


Fig. 332. — Station de Herzogenbuchsée.

geurs se trouvent sous de grandes halles; les salles d'attente, les bureaux et les logements, sont placés sur l'un des côtés. Comme il n'y a qu'une seule classe de voyageurs, divisée en hommes et femmes, il suffit de deux pièces pour salles d'attente, d'une salle de bagages, d'un bureau de distribution de billets et d'un bureau pour le chef de gare; ces pièces sont proportionnées à l'importance de la gare; dans les têtes de lignes, elles sont souvent placées en tête de la gare, ce qui n'est pas commode pour les voyageurs. Au chemin nouvellement construit de Drayton à Hamilton, la halle de la gare de Cincinnati, qui est tête de ligne, a 24^{m},70 de portée. Les trains partent et arrivent sur une même voie. Il n'y a qu'un seul trottoir de 7 mètres de largeur; sur le milieu de la longueur du trottoir se trouvent les bureaux, disposés comme l'indique le plan ci-joint (fig. 333). La longueur de la halle est de 150 mètres, les fermes sont en bois; elles se composent d'un cintre en arc de cercle de 0^{m},30 de hauteur sur 0^{m},21, formé de trois épaisseurs de planches.

Ces cintres sont reliés par un système de croix de Saint-André en fer et en bois. Les fermes sont écartées de 4^{m},80. Les côtés de la halle sont des arcades de 3^{m},40 d'ouverture avec trumeaux de 4 mètres.

A Philadelphie, la gare du chemin de Baltimore est une halle dont la couverture est composée de fermes de bois en arc de cercle (fig. 334) de 47^{m},75 de portée, écartées de 3^{m},66. Ces fermes, de 0^{m},80 de hauteur, sont composées de deux arcs en bois cintrés, assemblés au moyen de boulons et de croix de Saint-André; les croisillons ont été taillés avec assez de précision pour donner aux deux longrines qu'ils étaient destinés à relier la forme exacte du cintre voulu, au fur et à mesure du placement et du serrage des boulons. Deux tringles *a b* en fer, de 0^{m},02 de diamètre, s'opposent à la poussée; ces tringles sont soutenues dans leur longueur par cinq fils de fer de très-petit diamètre. Cette charpente, couverte en tôle plate, a coûté 18 francs 14 cent. le mètre superficiel.





A *Bagages*
B *Salle d'attente, Hommes*
C *Bureau*
D *Salle d'attente, Dames*
E *Billets*

Fig. 333.

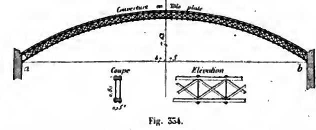


Fig. 334.

Les petites stations de voyageurs ne sont pas couvertes; elles sont entièrement en bois et ont beaucoup de ressemblance avec les stations provisoires que l'on a faites sur la ligne de Strasbourg; au premier étage logent un ou deux employés. Dans les petites localités, les bâtiments ne contiennent qu'une seule salle d'attente commune (fig. 333), un vestibule, un bureau des billets et le logement du chef de station. Au *chemin de l'Illinois central*, ces bâtiments ont 16 mètres sur 8 mètres.

Les buffets sont construits à part; ce sont de grandes tables d'hôte.

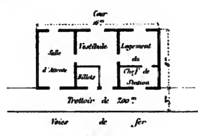


Fig. 335.

Les trottoirs des voyageurs de chaque côté des voies ont 200 mètres de longueur.

Bâtiment des douanes. — Le corps de bâtiment des douanes doit contenir, outre les salles de visite, deux cabinets pour les visites de corps, un bureau pour les employés, un bureau pour leur chef, un corps de garde pour les préposés, un logement pour le receveur, et, quand on le peut, un logement pour le brigadier.

Buffets. — Les salons ou salles à manger des restaurateurs, dans les stations de Wolverton et de Swindon, sur les chemins anglais de Londres à Birmingham et de Londres à Bristol, servent en même temps de salles d'attente. Ils sont très-grands et richement décorés. Ceux de la station de Swindon, placés le long de chaque trottoir, sont immenses et construits avec un luxe admirable.

A Swindon, la table du buffet, établi au milieu, partage le salon en deux compartiments, dont l'un est destiné à recevoir les voyageurs de 1re classe, et l'autre ceux de 2e et de 3e classe. A Wolverton, il y a deux salons distincts, l'un pour la 1re classe et l'autre pour les classes inférieures.

Au chemin de Strasbourg, il y a des buffets de deux ordres qui ne diffèrent entre eux que par leur étendue (Voir fig. 327). Leur distribution est exactement la même quant aux pièces affectées au service des voyageurs. Les dimensions de celles du second type sont seulement un peu plus petites que celles du premier.

Disposition des halles à marchandises. — On construit souvent les halles à marchandises dans les stations intermédiaires, comme l'indiquent les figures 336 et 337; les parois et les portes qui servent de fermeture sont alors parfaitement semblables des deux côtés, tandis que la disposition devrait être différente, puisque

l'un des côtés est affecté aux voitures, et l'autre aux waggons.

Dans les halles figure 336 les parois et portes qui servent de

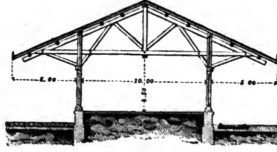


Fig. 336.

clôture se trouvent sur les deux revers du quai. Les parois fixes, occupant alors autant d'espace que les portes, vis-à-vis desquelles seulement on peut opérer les chargements et déchargements des waggons, rendent le service de ces waggons fort difficile. Il devient impossible de les mettre à l'abri des soustractions, et la marchandise qu'ils contiennent n'est que très-imparfaitement préservée des intempéries de l'air. Le service des voitures dans ces halles se fait

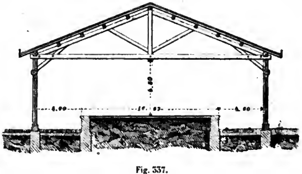


Fig. 337.

au contraire dans de très-bonnes conditions. Les manœuvres pour aborder le quai se font aisément sous l'abri entièrement ouvert latéralement dont il est bordé; et, comme les voitures se chargent ou se déchargent par bout et n'occupent le long du quai qu'un

espace dont la longueur de $1^m,20$ est moins grande que celle des portes, les parois fixes ne gênent aucunement. Enfin, les voitures ne séjournant que peu de temps vis-à-vis du quai, il devient inutile de les enfermer pendant la nuit ou de les garantir du mauvais temps.

Le hangar figure 337 est fermé latéralement de l'un et de l'autre côté au delà de la voie de la chaussée; il est commode pour le service des waggons, mais l'est très-peu pour celui des voitures.

On a adopté depuis quelque temps un système mixte (fig. 338).

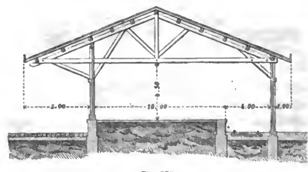


Fig. 338.

Le hangar est alors fermé complétement du côté des waggons, tandis qu'il n'offre, du côté affecté aux voitures, qu'un abri formé par la saillie du toit. C'est ainsi que sont construites les halles des gares de Chaumont et de Langres sur le réseau de l'Est.

Construction des quais à marchandises. — Il est important de porter son attention sur la construction du trottoir; on le pave avec de la pierre ou du bois; on le planchéie, on le bitume ou on le fait simplement avec du sable bien damé.

Le pavé en pierre, s'il n'est fait avec beaucoup de soin, est inégal à sa surface, ce qui rend la manutention de certaines marchandises difficile, fatigue les colis et leur cause souvent des avaries.

Le pavé en bois est préférable au pavage en pierre, mais il exige un entretien plus coûteux; les trottoirs en bitume sont quelquefois l'occasion d'avaries assez graves aux marchandises; ils leur communiquent une mauvaise odeur. Au chemin de fer de l'Est, la compagnie a été obligée de payer des indemnités élevées pour ava-

ries qu'avaient éprouvées des grains déposés sur un trottoir en bitume. Ces trottoirs, en outre, cèdent promptement sous l'action des colis manutentionnés, et leur surface, en hiver, est toujours mouillée.

Les aires en sable ne sont guère usitées que pour les trottoirs découverts où l'on ne dépose que des marchandises de peu de valeur, telles que des fers, des bois, etc.

Distribution d'un dépôt. — Un dépôt doit comprendre : 1° un petit magasin destiné aux matières de consommation courante, telles que huile, suif, chanvre, minium, etc.; 2° un bureau pour le distributeur qui tient la comptabilité du dépôt et délivre les matières autres que le coke; 3° un bureau pour le chef de dépôt; 4° un corps de garde pour les hommes de service, avec un lit de camp et des appareils de chauffage, disposés de manière à sécher les vêtements mouillés; 5° un dortoir pour les mécaniciens et les chauffeurs qui, venant d'autres dépôts, passent la nuit hors de leur résidence, ou pour ceux qui ont besoin de repos après avoir passé la nuit au service et qu'il est souvent utile de ne pas laisser s'éloigner; 6° des lieux d'aisance pour les employés et pour les ouvriers et manœuvres; 7° un logement pour le chef et le sous-chef de dépôt, dont la présence, à toute heure du jour et de la nuit, est nécessaire, afin que le service ne soit jamais en souffrance.

DIMENSIONS DES GARES OU STATIONS.

Nous avons, dans le premier volume (pages 134-139), indiqué la surface occupée par les gares ou stations de chemins de fer dans différents cas.

Il nous reste à faire connaître les dimensions des différentes parties dont elles sont composées. Une grande partie de ces dimensions ont été empruntées aux tableaux du *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, qu'on pourra consulter à cet égard.

Les gares et stations, sur la plupart de nos chemins de fer, non-seulement sont mal disposées, mais encore les bâtiments, quais, etc., qui en font partie, sont trop petits ou trop grands. Il était très-important de déterminer l'étendue à donner, pour un mouvement connu, à ces éléments de la station. Pour nous en rendre compte,

nous avons fait faire un relevé des dimensions de toutes les dépendances d'une partie des gares ou stations du réseau de l'Est, et du mouvement moyen journalier des voyageurs, des bagages et des marchandises, ainsi que du nombre maximum des voyageurs et de la quantité maxima des bagages et des marchandises se présentant dans un moment donné. Nous nous sommes aussi procuré des renseignements semblables sur un grand nombre d'autres chemins de fer français ou étrangers.

Les paragraphes suivants seront le résumé de ces études faites consciencieusement sur un grand nombre de points.

Dimensions d'ensemble.

Gares extrêmes. — Si d'abord nous nous occupons des grandes gares terminales pour voyageurs et marchandises à grande vitesse et si nous consultons le tableau de leurs dimensions publié dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, nous ferons les observations suivantes.

Longueur de la gare des voyageurs et des halles couvertes. — 1° Pour trois gares importantes, celles de l'Est, du Nord et d'Orléans, la longueur, comptée de la grille qui ferme la cour à la pointe des dernières aiguilles, est de 500 à 565 mètres. Sur deux de ces trois chemins, celui de l'Est et celui du Nord, il se trouve des cours et des bâtiments en tête. La longueur de la cour et des bâtiments est, à l'Est, de 70 mètres, et, au Nord, de 70 mètres également, en sorte qu'il reste pour la longueur de la gare proprement dite 500 mètres à l'Est et 430 mètres au Nord.

Au chemin d'Orléans, il n'y a pas de cour en tête, mais la gare est fermée par un bâtiment dont la limite extrême est à 25 mètres de la tête de la halle, et par une remise de 75 mètres de longueur. Il ne reste donc pour la longueur de la gare proprement dite que 400 mètres.

A Lyon, la gare des voyageurs n'a que 420 mètres de longueur, mais il ne se trouve en tête ni cour ni bâtiment. Une remise placée comme celle d'Orléans a 60 mètres de longueur. Il reste donc pour la longueur de la gare proprement dite, non compris la remise, 360 mètres.

Ainsi nous avons pour la longueur de la gare proprement dite :

A l'Est.	500 mètres.
Au Nord.	430 —
A Orléans.	400 —
A Lyon.	360 —

La longueur des halles couvertes est de :

A l'Est. . . .	150 mètres	non compris la remise.
Au Nord. . . .	150 —	
A Orléans. . .	160 —	
A Lyon. . . .	150 —	

Surfaces couvertes pour le service des voyageurs. — Les différences qui existent entre les surfaces couvertes, pour le service des voyageurs, ne tiennent pas seulement au plus ou moins d'importance de ce service, mais encore à la destination des locaux et à la disposition des bâtiments.

Ainsi :

1° Les bâtiments de la gare de l'Est et du Nord contiennent les salles et bureaux occupés par l'administration centrale (secrétariat général, comptabilité centrale, etc.), tandis qu'aux chemins de Lyon et d'Orléans ces salles et bureaux ont été placés dans un bâtiment spécial éloigné de la gare.

2° Les bâtiments des chemins de l'Est et du Nord sont généralement à un ou deux étages, ceux des chemins de Lyon et d'Orléans n'ont qu'un rez-de-chaussée. Si l'on eût placé sur ces chemins les bureaux établis dans des bâtiments spéciaux contigus à la gare, à un premier étage, la surface couverte se serait trouvée réduite à :

7,432$^{m^2}$ pour Lyon,
5,000$^{m^2}$ pour le Nord,
7,800$^{m^2}$ pour Orléans.

Les bureaux se trouvant à l'Est au-dessus des salles d'attente ou de bagages, la surface correspondante pour le service du chemin de Strasbourg avec embranchement seulement est de 5,600$^{m^2}$.

3° La petitesse des surfaces couvertes à l'Est et au Nord provient de l'exiguïté des salles de bagages ou des salles d'attente sur ces chemins.

4° Les halles couvertes ou marquises intérieures servant au même usage que les halles diffèrent sensiblement de surface aux chemins de l'Est, de Lyon et d'Orléans. On se rend compte de la différence en remarquant que les halles couvertes, aux chemins de Lyon et d'Orléans, comprennent des remises dont les surfaces sont pour Lyon de 2,940^{m2}, et pour Orléans 3,975^{m2}, en sorte que les portions des halles couvertes ou marquises intérieures, consacrées exclusivement au service des voyageurs, sont :

Pour Lyon de.	6,300^{m2}
Orléans.	5,460^{m2}
l'Est.	4,500^{m2}
le Nord.	5,760^{m2}

Surfaces des cours. — Il y a de grandes différences dans les surfaces des cours et trottoirs découverts.

Ces différences s'expliquent de la manière suivante :

A l'Est, la surface se décompose en cour de départ en tête de la gare. . . . . 4,050 mètres carrés.

Cour latérale d'arrivée.	2,750	—
Cour latérale inutilisée jusqu'à ce jour.	2,750	—
TOTAL.	9,550	mètres carrés.

La partie utilisée n'est donc que de 6,800 mètres carrés.

A Lyon, où il n'y a pas de trottoirs découverts, elle est de 6,600 mètres carrés.

A Orléans, la surface des cours est de 9,000 mètres carrés.

Cette surface est considérable, mais il faut observer que la cour d'arrivée est immense. Elle occupe à elle seule 6,125 mètres carrés. La cour de départ n'a que 2,400 mètres carrés. Le reste de la surface est affecté à une cour du bâtiment de l'administration.

Au Nord, la surface découverte se divise de la manière suivante :

Trottoirs découverts.	1,500	mètres.
Cour de départ et d'arrivée. . . .	1,600	—

La cour est trop petite.

Surface couverte pour le service de la messagerie et marchandise à grande vitesse. — La fraction couverte des gares de voyageurs est toujours destinée uniquement au service des marchandises à grande vitesse. Nous y avons compris celle qui est destinée au service des chaises de poste, et qui se trouve ordinairement contiguë aux cours des bâtiments établis pour les marchandises à grande vitesse.

La surface couverte à l'Est et à Lyon est à peu près la même (de 2,000 à 2,200 mètres carrés). Au Nord elle est plus grande (2,900 mètres); cela tient à l'activité du service. A Orléans, l'exiguïté du terrain n'avait pas jusqu'ici permis de construire de halle à marchandises. La compagnie vient de faire l'acquisition d'une assez grande surface qui sera ajoutée à la gare de Paris, et sur laquelle s'élèveront bientôt de nouvelles constructions.

Surface couverte pour le service du matériel dans les gares de voyageurs. — A l'Est, le service des locomotives devant être concentré entièrement à la Villette, on a démoli dans la gare de Paris une demi-rotonde servant au remisage de huit locomotives. On a également démoli une remise de waggons pour en construire à la place une nouvelle de 1,020 mètres.

Au chemin du Nord, il n'y a dans la gare des voyageurs de remises ni pour waggons ni pour locomotives; mais un certain nombre de waggons se trouvent, partiellement au moins, abrités sous les marquises qui couvrent et débordent les trottoirs de banlieue.

Un réservoir ainsi qu'un petit atelier et des dépendances occupent une surface couverte de 409 mètres.

A Orléans, il n'y a également ni remise de locomotives ni remise de waggons; le remisage se fait, comme au Nord, dans les ateliers voisins.

Surface couverte pour le service de la marchandise à petite vitesse. — Le mouvement des marchandises étant par jour,

	Moyennement.	au maximum.
A l'Est, de.	1,700 tonnes.	2,600 tonnes.
Au Nord, de. . . .	2,600	4,500
A Lyon, de.	2,150	3,250
A Orléans, de. . . .	2,000	»

la partie couverte de la gare des marchandises est :

A l'Est, de.	20,000	mètres carrès.
Au Nord, de.	49,000	—
A Lyon, de.	25,000	—
A Orléans, de.	32,000	—

La différence d'étendue entre les surfaces couvertes à l'Est et au Nord s'explique par la différence de mouvement dans les deux gares (1,705 tonnes à l'Est, et 2,617 tonnes au Nord), et par la nature des marchandises manutentionnées.

Toutefois la surface couverte à l'Est est un peu trop faible.

A Orléans, la surface couverte pour les marchandises est plus grande qu'à l'Est, bien que le mouvement diffère peu de celui de l'Est, parce que les marchandises, dans cette gare, sont toutes manutentionnées à couvert. Il n'existe pas de quais découverts.

Surface découverte pour le service de la marchandise à petite vitesse. — La grande étendue de la surface découverte pour le service des marchandises à l'Est compense jusqu'à un certain point l'exiguïté de la surface couverte. On pourrait la considérer néanmoins comme excessive, si une grande partie de cette surface ne devait être convertie en halles couvertes pour le service de la ligne de Mulhouse. A Orléans, elle ne dépasse pas 40,000 mètres carrés; au Nord et à Lyon, 18,000 mètres carrés.

Surface des ateliers pour le service du matériel dans les gares de marchandises. — A l'Est, le service du matériel n'occupe dans la gare des marchandises que 21,000 mètres carrès environ de surface couverte et 58,000 de surface découverte (en tout 8 hectares environ), et à Lyon, 20,000 mètres carrés de surface couverte et 85,000 de surface découverte (soit 10 hectares 1/2), tandis qu'au Nord la surface couverte des ateliers et remises est de 53,000 mètres carrés, et la surface découverte, 85,000 mètres (ou 13 hectares 8/10), et à Orléans la surface couverte, 26,000 mètres carrés, et la surface découverte, 68,000 mètres carrès (11 hectares 4/10).

La gare des marchandises de l'Est ne contenant pour le service du matériel qu'une grande carrosserie et des remises de locomotives, on conçoit que la partie consacrée à ce service doive occuper

un espace moindre que celle consacrée au même service sur les chemins de Lyon, du Nord et d'Orléans, où la gare des marchandises contient les grands ateliers de réparation des locomotives. Mais on s'étonne de ce qu'à Lyon la surface couverte pour le service du matériel ne soit pas plus importante qu'à l'Est, et de ce qu'à Orléans elle soit sensiblement plus petite qu'au Nord. L'espace occupé par le service du matériel à Lyon semble insuffisant. La surface couverte des ateliers d'Épernay, ne comprenant pas de carrosserie, est de 2 hectares environ. Si l'on y ajoutait une carrosserie, cette surface serait de 3 1/2 à 4 hectares ; et cependant les ateliers d'Épernay ne sont pas trop grands pour le service de la ligne de Strasbourg et de ses dépendances. Des ateliers de dimensions à peu près semblables sont en construction à Mulhouse, pour les nouvelles lignes du réseau de l'Est.

La surface couverte des ateliers d'Orléans (25,000 mètres carrés) tient le milieu entre celle des ateliers d'Épernay (21,000 mètres carrés), et celle des ateliers du Nord (54,000 mètres carrés). Elle est faible. La partie consacrée à la carrosserie est surtout insuffisante.

Au Nord, la même surface est considérable, mais sur ce chemin la compagnie a concentré à Paris la plus grande partie du service de réparation et de construction, tandis que ce service est partagé, sur les chemins de l'Est, entre Épernay, Mulhouse, la Villette et Montigny.

Surface occupée par les voies. — La surface occupée par les voies de la gare des marchandises à l'Est, à Lyon et au Nord, n'est jamais moindre de 100,000 mètres carrés, et elle atteint même 148,000 mètres à Lyon. A Orléans, elle approche beaucoup du chiffre de 100,000 mètres.

Magasins. — L'étendue des magasins dépend de l'importance des approvisionnements qu'ils doivent renfermer. Au chemin de Strasbourg, le magasin central, servant aux ateliers de réparation des locomotives d'Epernay, couvre une surface de 1,168 mètres, des galeries règnent alentour à une hauteur de $5^m,15$ au-dessus du sol. La surface du rez-de-chaussée du magasin proprement dit est de 1,168 mètres, celle des galeries, de 98 mètres; les bureaux

occupent une surface de 288 mètres. Les logements du garde-magasin et du sous-chef de dépôt sont placés au-dessus des bureaux. Une grande cave existe au-dessous.

A côté du magasin est un hangar pour abriter les approvisionnements de bois; sa surface est de 960 mètres. Ce magasin et ce hangar suffisent largement aux ateliers d'Epernay, dans lesquels il ne faut pas oublier que les locomotives seules sont réparées. La réparation des voitures et waggons se faisant à la Villette, on y a placé un second magasin dont la surface est de 1,527 mètres.

Conséquences tirées de l'étude des dimensions des gares parisiennes. — Il semble que l'on puisse tirer de ce qui précède les conclusions suivantes pour des réseaux comparables à ceux de l'Est, de Lyon, du Nord et d'Orléans, et en ayant égard aux habitudes françaises :

1° La longueur de la gare proprement dite des voyageurs, non compris une cour antérieure et un bâtiment de tête, paraît devoir varier entre 360 et 430 mètres.

Si l'on y ajoute une cour antérieure et un bâtiment de tête, elle devrait être d'environ 530 mètres.

Sans cour antérieure, mais avec un bâtiment ou une remise en tête, elle serait de 4 à 500 mètres. La longueur de 400 mètres ne suffirait qu'autant que la remise serait courte et la gare large comme à Lyon.

La longueur des halles couvertes sur nos chemins des environs de Paris est de 130 à 160 mètres, ce qui permet de placer à couvert un convoi de 20 voitures. Cette longueur devrait être portée à 200 mètres environ, afin que la longueur du convoi pût atteindre la limite du convoi réglementaire, celle de 24 voitures.

Au chemin de fer de l'Est, on pourra abriter dans la nouvelle gare 30 voitures placées à la suite l'une de l'autre. Mais il faut considérer cette nouvelle gare comme composée de deux gares placées bout à bout.

2° La surface couverte pour le service des voyageurs seulement devrait être de 7,500 mètres pour le bâtiment et de 6,300 mètres pour la halle, non compris les remises contiguës, comme au chemin de Lyon.

Les surfaces couvertes correspondantes à l'Est sont trop faibles.

3° La surface découverte des cours ne devrait pas être moindre de 6,500 à 7,000 mètres carrés, soit de 3,000 à 3,500 mètres pour chacune des cours d'arrivée et de départ. Si au chemin d'Orléans la cour d'arrivée est d'une grandeur excessive, celle de départ est trop petite.

4° La surface couverte pour le service de la messagerie et de la marchandise à grande vitesse varierait entre 2,000 et 3,000 mètres carrés, suivant l'importance du service, et la surface découverte entre 2,000 et 4,000 mètres.

5° La surface couverte et la surface découverte pour le service du matériel, dans la gare des voyageurs, seraient assez variables, suivant que le dépôt le plus voisin serait plus ou moins éloigné.

6° La surface couverte pour le service de la marchandise à petite vitesse varierait de 25,000 à 40,000 mètres carrés, suivant l'importance du service et la nature des marchandises manutentionnées. A l'Est, pour un mouvement journalier de 16,000 tonnes, elle n'est que de 21,000 mètres; mais elle est insuffisante.

La surface découverte peut se réduire à 17,000 mètres carrés, dont une partie plus ou moins considérable consiste en trottoirs découverts.

Nous conseillerons toutefois d'occuper, s'il est possible, une surface plus grande, afin de faciliter les manœuvres et d'y pouvoir déposer les marchandises encombrantes transportées par la navigation.

7° L'étendue de la surface couverte par de grands ateliers de réparation est assez variable. Une surface de 13 à 14 hectares, comme au Nord, ne semble pas exagérée.

Sur cette surface on ne saurait compter moins de 2 1/2 à 3 hectares de surface couverte.

8° La surface occupée par les voies dans les gares de marchandises varierait entre 100,000 et 150,000 mètres carrés.

Dimensions des gares de voyageurs des chemins anglais, à Londres. — Les gares de tête des lignes importantes d'Angleterre [1] offrent dans quelques-unes de leurs parties des proportions

[1] Les renseignements sur les gares anglaises nous ont été fournis par MM. Greniet et Guillaume, ingénieurs au chemin de fer de l'Est.

d'une grandeur tout à fait remarquable, et qui même quelquefois paraissent exagérées si on les compare à celles des gares de même importance, reconnues suffisantes dans d'autres pays. Les halles couvertes surtout sont fort belles et réunissent une grande largeur à une grande longueur.

Ainsi, à la gare du Great-Northern, à Londres, il y a 14 voies de fer sous la halle, outre les quais de départ et d'arrivée et une rue couverte occupant, du côté de l'arrivée, toute la longueur de la halle ; cette longueur n'est pas de moins de 260 mètres.

Au Great-Western, la largeur de la halle est de 90 mètres ; elle recouvre 10 voies de fer, un quai de départ de plus de 8 mètres, un quai d'arrivée de 15 mètres, deux quais d'entrevoie, l'un de $7^m,50$ du côté du départ, et l'autre de $6^m,50$ du côté de l'arrivée ; enfin, une rue couverte de $15^m,50$ du côté de l'arrivée ; la halle proprement dite a 214 mètres de longueur et est prolongée par une remise de waggons de 66 mètres.

A Birmingham, à la gare de London and North-Western, la halle a une largeur de 70 mètres *sans supports intermédiaires*, et une longueur de 280 mètres ; elle couvre 9 voies de fer, 4 quais de voyageurs et une rue pour les voitures. Cette gare est à la fois une gare intermédiaire et une gare de tête de ligne ; aussi certaines voies principales la traversent dans toute sa longueur, tandis que d'autres s'y terminent en cul-de-sac. Tous les quais sont réunis par une passerelle à laquelle de larges escaliers donnent accès.

A Wolwerhampton, la gare du Great-Western présente les mêmes dispositions, mais sur de moins larges proportions ; néanmoins la largeur de la halle est encore de 38 mètres sans points d'appui intermédiaires, et la longueur de 200 mètres. C'est une gare d'embranchement dont les voies sont à trois rails pour correspondre à la fois à la voie ordinaire de $1^m,50$ et à la voie large de la ligne principale du Great-Western.

La gare du chemin de fer de Lancashire et de Yorkshire, à Liverpool, présente l'exemple d'une gare où le service se fait en tête. La halle, d'une longueur de 290 mètres et d'une largeur de 45 mètres sans points d'appui intermédiaires, recouvre trois quais de longueurs et de largeurs inégales, qui aboutissent à une large plate-

forme placée en tête de la gare et où se fait le service des bagages; cette disposition est motivée par le grand nombre de trains de banlieue qui partent de Liverpool dans cette direction.

Le quai intermédiaire, affecté spécialement au départ, a 160 mètres de longueur sur $5^m,80$ de largeur. Les deux quais extrêmes ont une largeur de 4 mètres; l'un d'eux a 93 mètres de longueur et sert de quai de départ; l'autre, de 255 mètres, est le quai unique d'arrivée; ce dernier borde une rue de 12 mètres, réservée pour les voitures sous la halle.

Nous n'avons pu nous procurer des renseignements complets que sur deux des grandes gares anglaises, celle du Great-Western et celle du Great-Northern, à Londres.

La surface des bâtiments consacrés aux voyageurs, est

Au chemin Great-Western, de 8,846 mètres carrés;

Au Great-Northern, de 3,270 mètres carrés.

Pour obtenir la surface de la partie couverte employée pour le service sur ces deux lignes, il faut déduire des surfaces totales celle des deux hôtels garnis que contiennent ces bâtiments.

La surface de l'hôtel du Great-Western est de 1,460 mètres;

Celle du Great-Northern, de 864 mètres.

Il reste ainsi pour la surface des bureaux, salles d'attente, etc., non compris les locaux affectés à l'administration, locaux qui se trouvent à un premier étage ou dans un bâtiment spécial :

Au Great-Western, 7,385 mètres;

Au Great-Northern, 2,406 mètres.

En étudiant ces données et celles fournies par les tableaux du *Portefeuille*, on remarque :

1° Que la longueur des gares anglaises, à voyageurs, diffère peu de celle de nos gares françaises;

2° Que la surface totale de ces gares est inférieure à celle de la plupart des gares françaises;

3° Que celle des bâtiments, non compris les hôtels, est, pour le Great-Northern, beaucoup plus petite que la surface correspondante sur les chemins français, mais qu'au Great-Western elle est plus grande qu'aux chemins de l'Est et du Nord;

4° Que la surface des halles est beaucoup plus grande que sur les chemins de fer français ;

(25,000 mètres carrés au Great-Western pour les halles et cours; 20,500 au Great-Northern ; sur les chemins français, de 5,000 à 9,000 mètres carrés.)

5° Que la surface des cours couvertes est considérable.

Le peu de surface des bâtiments sur le Great-Northern et la grandeur de l'espace couvert par les halles tiennent, d'une part, aux usages anglais, bien différents des nôtres, et, d'autre part, au grand nombre de voies placées entre les trottoirs.

On sait qu'en Angleterre les salles d'attente sont très-petites, et que le public passe immédiatement sur le trottoir ou dans les voitures. On sait aussi que les bagages n'y sont pas visités, comme en France, au moment de l'arrivée.

La surface des bâtiments, au Great-Western, est exceptionnelle, comme la plupart des dimensions de ce chemin. Cette surface, sur les autres lignes anglaises, se rapproche surtout de celle du Great-Northern.

L'usage de couvrir les cours où stationnent les voitures est général dans les grandes gares anglaises; il est à désirer qu'il se répande également sur le continent.

Dimensions des grandes gares de marchandises anglaises. — Les grandes gares de marchandises, en Angleterre, présentent des proportions différentes de celles généralement adoptées en France : elles occupent moins de surface, en proportion du trafic, et le service y est concentré dans un plus petit nombre de bâtiments ; souvent un seul hangar, couvrant les quais de départ et d'arrivée, et un magasin adjacent suffisent pour des gares très-importantes.

Si nous recherchons la cause de ce fait, nous la trouvons :

1° Dans les habitudes du commerce, qui ne sont pas les mêmes dans les deux pays. En Angleterre, en effet, la livraison des marchandises a lieu, généralement, sans aucun délai ; celles qui, exceptionnellement, doivent rester plus d'un jour dans la gare, sont enlevées des quais et emmagasinées ; en un mot, les marchandises n'encombrent pas les quais de déchargement. En France, au contraire, les négociants laissent généralement séjourner leurs mar-

chandises dans les gares, et, comme il n'existe pas de magasin à proximité des quais, il en résulte un encombrement qui oblige à augmenter outre mesure la surface couverte.

2° Dans ce qu'en Angleterre les magasins où se fait la manutention des marchandises, et où elles sont quelquefois conservées, sont souvent à plusieurs étages. Au North-Western, on en trouve qui ont jusqu'à six étages. Les colis sont alors montés d'un étage à l'autre au moyen de machines à vapeur et de machines hydrauliques ou grues automatiques.

3° Dans cette autre circonstance que la plupart des marchandises que nous manutentionnons à découvert sur nos chemins français, et qui restent longtemps en dépôt, sont, en Angleterre, transportées par les voies navigables. Aussi remarque-t-on que la totalité des trottoirs dans les gares anglaises de Londres est couverte. Le service des bestiaux même, qui, en Angleterre, a une grande importance, n'exige pas de quai découvert. Il se fait sur une voie spéciale qui conduit jusqu'au marché.

4° Enfin, dans la bonne disposition de quelques-unes de ces gares.

Toutes les gares de marchandises que nous avons visitées en Angleterre appartiennent au type parallèle : quelques-unes cependant présentent une disposition qu'on pourrait appeler mixte, et qui consiste en un quai très-large, coupé de distance en distance par des entailles où sont posées des voies transversales reliées par des plaques tournantes aux voies longitudinales. Ce dernier système réunit les avantages des deux autres, en ce qu'il permet un certain classement des marchandises, sans nécessiter de longues manœuvres à bras ; on le trouve appliqué dans les gares de Bricklayer's arms et de South-Coats, à Londres, dans celle de North-Western, à Liverpool, etc.

Généralement, dans les gares importantes, le service de départ et celui d'arrivée se font sur des quais différents ; cependant, dans les deux premières des trois gares que nous venons de citer, il n'y a qu'un seul quai qui sert aux arrivages pendant la nuit, et aux expéditions pendant le jour ; mais, quel que soit son avantage au point de vue des manœuvres de waggons vides, cette disposition

donne nécessairement lieu à quelque confusion quand elle est appliquée à des gares d'une aussi grande importance.

La division du service en départ et arrivée est presque partout la seule admise; le classement des marchandises par nature, provenance ou destination, n'est employé que dans peu de cas, et seulement sur les quais d'arrivage ; quand un classement quelconque est adopté, la disposition mixte, que nous avons indiquée plus haut, est considérée comme la meilleure.

Les quais d'expédition et ceux d'arrivage sont presque toujours placés, de part et d'autre, le long des voies longitudinales, de façon à réduire, autant que possible, les manœuvres de waggons vides ; nous citerons les gares du Great-Western et du Great-Northern, à Londres, et celle du North-Western, à Liverpool, comme se rattachant à ce type.

Le tonnage moyen, par mètre carré de quai et par jour dans les gares anglaises, est de 0t,327.

Le tonnage moyen, par mètre carré de surface couverte et par jour, est de 0t,095.

Dans quatre de ces gares, celles des chemins Great-Western. Great-Northen, Eastern-Counties et London, et North-Western, le service se fait avec une très-grande rapidité et ponctualité au moyen de machines; dans les deux autres gares, le service se fait à bras d'hommes, comme dans nos gares françaises.

La gare du North-Western, à Liverpool, est l'une des plus parfaites. Cette gare, dont la superficie dépasse à peine un hectare, et qui reçoit et expédie, en moyenne, 1,500 tonneaux de marchandises par jour, est entièrement couverte sur toute sa largeur et sur la plus grande partie de sa longueur; tout le mouvement se fait sur deux quais : l'un pour les expéditions, l'autre pour les arrivages, placés de part et d'autre des six voies longitudinales.

La plate-forme de la gare est en déblai et à un niveau inférieur à celui des rues qui la limitent; on a tiré un heureux parti de cette position en établissant les quais à la même hauteur que les rues; les voitures arrivent directement sur les quais, auxquels on donne, en conséquence, une largeur exceptionnelle; cette largeur est de 25 mètres pour le quai des expéditions, et de 21 mètres pour le

quai des arrivages; celui-ci est dans le système mixte, et il est surmonté d'un vaste magasin à deux étages.

Le mouvement journalier des marchandises de toute sorte est :

Sur le Great-Western, de 1,000 tonnes.

Le mouvement des houilles, qui, dans cette gare, ne comprend que les arrivages pour le commerce de détails, ne s'élève, en moyenne, par jour, qu'à 400 tonnes.

Sur le Great-Northern, le mouvement des marchandises diverses est de 880 tonnes.

Celui des charbons de terre est beaucoup plus important dans cette gare que dans les autres gares de Londres, il atteint 2,025 tonnes.

Nous ne connaissons pas le mouvement des matériaux de construction, auquel sont affectés un bassin et quelques quais découverts. Ces quais sont loués par des particuliers, et doivent être considérés comme des gares spéciales raccordées avec le chemin de fer; les halles à pommes de terre sont dans le même cas.

Gares extrêmes du Nord et du Midi à Bruxelles. — Les gares extrêmes des chemins belges à Bruxelles, celles du Nord et du Midi, couvrent un espace beaucoup moins grand que les gares parisiennes (6 hectares pour les gares de voyageurs et marchandises du Nord, 4 hectares et demi au Midi).

Cela tient :

1° A ce que le mouvement y est bien moindre que dans ces dernières; ainsi le mouvement journalier moyen des voyageurs partants, dans la gare du Nord, n'est que de 1,467, et dans celle du Midi de 838; tandis que dans nos gares parisiennes il varie de 1,742 (chemin de l'Est) à 3,730 (chemin du Nord). Celui des marchandises, départ et arrivée, est, dans la gare du Nord belge (Allée-Verte), de 308 tonnes, dans celle du Midi de 218 tonnes, lorsque, aux chemins du Nord, d'Orléans, de l'Est et de Lyon, il n'est pas moindre de 1,700 tonnes (chemin de l'Est), et s'élève jusqu'à 2,600 tonnes (chemin du Nord).

2° A ce que les marchandises ne séjournent qu'exceptionnellement dans les gares. Le plus souvent les usines étant reliées au chemin de fer par des voies particulières, le chargement des ma-

tières ou marchandises encombrantes s'y fait sur le lieu même de l'expédition. Par la même raison, les marchandises arrivant sont, de suite, soit par des voies dont il a été question ci-dessus, soit par des voitures recevant immédiatement leur chargement du waggon, expédiées aux destinaires. La manutention s'y fait plutôt à découvert que sous des halles spéciales. Dans certaines gares, cependant, celle de l'Allée-Verte, par exemple, et dans la gare d'Anvers, dont nous parlerons plus loin, une partie des opérations a lieu dans une grande cour couverte, bordée de quais. Une autre partie a lieu à ciel ouvert. Les produits du pays (fers, fontes, bois et charbons) sont, la plupart, de nature à être manutentionnés à découvert; souvent même on les laisse séjourner dans les waggons sur les voies de service.

La surface des bâtiments de la gare du Nord, à Bruxelles, est sensiblement moins grande que celle du bâtiment le plus petit des gares de Paris (Nord), et cependant ces bâtiments sont, en partie, consacrés à des services autres que celui des chemins de fer, tels que le service de la direction des postes et le service de la télégraphie.

Cette exiguïté relative des bâtiments de la gare du Nord, à Bruxelles, s'explique aisément :

1° Le mouvement des voyageurs y est moins grand que dans les gares françaises;

2° Le service ne s'y fait point de la même manière : les voyageurs ne séjournent pas dans les salles d'attente; ils circulent sur le quai ou montent dans les waggons, comme en Angleterre. La visite des bagages ne s'y fait pas dans des salles spéciales, comme à Paris. Elle a lieu simplement sur le quai.

La longueur des gares belges est un peu plus grande que celle de nos chemins parisiens.

La halle couverte du chemin du Nord belge est d'une grande beauté. Sa surface est presque égale à celle de la halle du chemin de l'Est. Le nombre des voies couvertes est de sept. Sa longueur (108 mètres) serait insuffisante pour des trains de 24 voitures.

Il n'existe aucune cour pour la gare des voyageurs. Le service se fait, soit au départ, soit à l'arrivée, entièrement sur la voie publique.

Stations intermédiaires, hors classe et d'embranchements. —

Lorsqu'on jette un coup d'œil sur les dimensions des stations intermédiaires ou des stations terminales autres que celles des grandes gares placées à Paris, à Londres ou à Bruxelles, on trouve de si grandes différences dans les dimensions de chacune des parties des stations, qu'il semble que la connaissance de ces dimensions ne peut conduire à aucune conclusion utile; cette observation s'applique surtout aux stations hors ligne. Si toutefois on se livre à une étude plus approfondie de ces tableaux, on parvient à des analogies qui ne sont pas sans intérêt pour les ingénieurs appelés à établir ou à vérifier les devis des lignes à construire.

C'est ce que nous allons prouver. Parlons d'abord des gares hors ligne, terminales ou d'embranchement.

Le mouvement des voyageurs et des marchandises dans les gares intermédiaires hors ligne, terminales et d'embranchement, est ordinairement beaucoup plus grand que dans les autres stations. Il approche quelquefois de celui des gares extrêmes à Paris. Dans ces gares souvent on trouve non-seulement de grands bâtiments pour le service des voyageurs, mais encore des halles très-vastes pour celui des marchandises, des buffets et des ateliers de réparation. Certaines gares terminales, comme celle de Dunkerque, diffèrent peu pour l'importance des stations intermédiaires de 1re classe, et plusieurs gares d'embranchement, comme celle de Juvisy, pourraient être classées, si l'on n'avait égard qu'au mouvement, parmi les stations de 2e classe. Aussi la surface occupée varie-t-elle entre 4 et 28 hectares.

Sur trente-cinq gares ou stations, cinq occupent une surface de 15 à 28 hectares environ, neuf de 10 à 15 hectares, quatre de 8 à 8 hectares et demi, quatre de 7 à 7 hectares et demi, six de 6 à 6 hectares et demi, sept de 5 à 5 hectares et demi, quatre de 4 à 4 hectares et demi et trois de 3 à 3 hectares et demi.

La plus grande de toutes est celle de Pesth, occupant 28 hectares environ.

Gare de Pesth. — La gare de Pesth est une des plus grandes gares d'Allemagne. Le mouvement des voyageurs y est considérable (951 voyageurs par jour en moyenne). Celui des marchandises y est relativement plus grand encore. Il n'y a parmi les gares

de cette catégorie que celle de Lyon-Vaise où le chiffre de l'un et de l'autre mouvement soit plus élevé.

Le service du matériel joue aussi, à Pesth, un rôle important : on a établi près de cette ville de grands ateliers équivalant pour la surface à ceux d'Orléans. Ce service occupe à lui seul 6 hectares.

Le service des marchandises occupe 9 hectares. Enfin il y a 4 hectares environ d'inutilisés. Le mouvement des marchandises est de près de 800 tonnes par jour.

La surface couverte des bâtiments pour le service des voyageurs, 1,620 mètres carrés, est loin d'atteindre, par ses dimensions, celle de la gare de Lyon, 3,050 mètres carrés; mais elle est déjà considérable, puisque, à 100 mètres près, elle est la même que celle des bâtiments de la gare de Nancy, 1,750 mètres carrés. Ces bâtiments répondent parfaitement à tous les besoins de l'exploitation.

Gare de Valenciennes. — La gare de Valenciennes vient immédiatement après celle de Pesth dans l'ordre de grandeur.

Le mouvement des voyageurs, et même celui des marchandises dans cette gare, est cependant inférieur aux mouvements correspondants dans d'autres gares que nous avons classées également parmi les gares hors ligne. Ainsi le mouvement moyen journalier des voyageurs, étant, à Valenciennes, de 295, est, à Lyon-Vaise, de 1,271 ; à Strasbourg, de 769 ; à Bordeaux, de 724; à Lille, de 1,500; à Anvers, de 716; à Bruges, de 348; à Stuttgard, de 700, etc., etc. Celui des marchandises, étant, à Valenciennes, de 197 tonnes, est, à Mons, de 1,576; à Lyon-Vaise, de 927 tonnes; à Nancy, de 683; et à Bordeaux, de 627. Si la surface occupée par la gare de Valenciennes est aussi grande, cela tient surtout à l'immense surface couverte par les voies, surface qui, sur 20 hectares, en occupe à elle seule 16 1/2. Remarquons aussi que 1 hectare 1/2 environ sont restés inutilisés, en sorte que la surface réelle n'est que de 18 hectares 1/2.

La proximité de la frontière belge donne à la gare de Valenciennes une grande importance. Le développement considérable des voies, qui occupent une surface de 164,343$^{m^2}$, tient : 1° à ce que c'est une gare de rebroussement ; 2° à ce que tous les trains y sont décomposés et visités.

Les bâtiments pour le service des voyageurs de la station de Valenciennes, mesurant une surface de 1,330 mètres carrés, contiennent une grande salle pour la visite de la douane, et des salles d'attente doubles d'assez grandes dimensions.

Gare de Vaise à Lyon. — La gare de Vaise, bien que nous l'ayons placée sur le même tableau que celles d'Orléans, de Tours, de Bordeaux, de Strasbourg, de Metz et de Nancy, aurait pu figurer aussi, eu égard à son importance, sur celui des gares parisiennes. Les bâtiments pour le service des voyageurs y approchent, pour la grandeur, de ceux du Nord et de l'Est à Paris; leur surface est de 3,030 mètres.

Les trottoirs couverts y occupent une plus grande étendue de terrain que ceux de la gare de l'Est. Quant aux parties couvertes et découvertes affectées au service de la marchandise, elles sont sensiblement inférieures en grandeur aux parties correspondantes des gares parisiennes.

Mais elles sont beaucoup plus grandes que celles des stations de Metz, Nancy et Strasbourg.

Gare de Malines. — La gare de Malines est, comme celle de Valenciennes, une gare exceptionnelle qui n'est comparable à aucune de celles dont nous avons parlé. C'est la gare où passent tous les voyageurs qui circulent dans le Nord de la Belgique; ils ne s'y arrêtent souvent que pour changer de voiture, sans entrer dans les salles d'attente. Aussi le bâtiment des salles d'attente n'y est-il pas beaucoup plus grand que celui des stations intermédiaires de 1[re] classe de nos chemins français, telles que Tonnerre, Meaux, etc., etc. : sa surface est de 330^{m2}. Le mouvement des marchandises dans cette gare, malgré sa grande surface, y est aussi assez peu important (94 tonnes par jour); mais ce qui la distingue de la plupart des autres stations hors ligne, c'est le grand espace occupé pour le service du matériel (ateliers et remises), espace qui est d'environ 8 hectares. Déduisant les 8 hectares de la surface totale 16 hectares, il ne reste que 8 hectares pour les autres services. De ces 8 hectares, 6 sont occupés par les voies.

Gares de Tours, Orléans, etc. — Les gares de Tours, Orléans, Bordeaux, Nantes, Angers, se trouvent dans les conditions normales

de gares qui desservent des villes du premier ordre ; aussi la surface qu'elles occupent ne varie-t-elle qu'entre les limites peu étendues de 10 1/2 à 15 hectares.

Les surfaces couvertes pour le service des voyageurs dans une partie de ces gares paraissent trop grandes pour le mouvement indiqué. A Nantes, par exemple, où le mouvement journalier moyen est de 218 voyageurs, cette surface est de 1,200 mètres plus grande qu'à Nancy, où le mouvement est de 559 voyageurs. Cela tient à ce que les grandes gares du chemin d'Orléans à Bordeaux ont été construites sur le même type et avec un certain luxe, sans trop se préoccuper de la circulation actuelle et en ayant égard au développement futur de cette circulation. On conçoit d'ailleurs que la gare qui dessert une ville comme Bordeaux doit être établie avec des proportions un peu exceptionnelles. Nous ferons observer aussi que la gare de Tours est une gare où s'embranchent trois chemins : celui de Paris à Tours, celui de Tours à Bordeaux et celui de Tours à Nantes.

Gare de Nancy. — La gare de Nancy n'est pas une gare d'embranchement, comme on pourrait le supposer. C'est à Frouard (8 kilomètres de Nancy) que l'embranchement de Metz vient se souder au chemin de Paris à Strasbourg.

La gare de Nancy, toute vaste qu'elle est (11 hectares), ne se trouve pas encore tout à fait suffisante pour satisfaire aux exigences du service des voyageurs. La compagnie est en marché, en ce moment, pour des terrains dont l'acquisition l'accroîtrait d'un hectare environ.

Le bâtiment des voyageurs de la gare de Nancy laisse peu à désirer, quant à son étendue. Sa surface, 1,750 mètres carrés, est plus que le quadruple des stations intermédiaires de première classe, telles que les stations de Meaux, etc. Il contient un vaste buffet (340 mètres), des salles de bagages et de messagerie qui n'ont pas moins de 504 mètres de surface, et des salles d'attente, couloirs pour voyageurs, bureaux des employés, etc., qui occupent un espace de 886 mètres.

La surface couverte pour la manutention des marchandises est en rapport avec l'importance et la nature du mouvement (683 tonnes en moyenne par jour).

Le service du matériel occupe ainsi, dans cette gare, une surface couverte importante, 5,000 mètres.

Gares d'Épernay, Montereau, Troyes, Creil et Blesmes. — La gare d'Epernay est une gare d'embranchement comparable à celles de Montereau, de Troyes, de Creil et de Blesmes. Sa surface totale est de 10 hectares. Si on en déduit un hectare environ inutilisé, elle est d'un hectare et demi plus grande que celle de Montereau, et de deux ou deux et demi hectares plus grande que celles de Troyes et de Blesmes. Cette différence tient à ce que la station d'Épernay renferme de vastes ateliers qui n'existent pas dans les autres stations d'embranchement. La différence serait même plus grande si la nature du service, dans ces dernières stations, n'eût obligé d'augmenter le développement des voies beaucoup plus qu'à Epernay.

Toutes ces stations, celle de Blesmes exceptée, contiennent ou contiendront de grands buffets. Le buffet d'Epernay est surtout de dimensions considérables (470 mètres); ce qui explique comment il se fait que la surface couverte pour le service des voyageurs y est plus grande qu'à Montereau, bien que le mouvement des voyageurs partant ou arrivant n'y ait pas la même importance.

Si l'on compare les surfaces couvertes pour le service des voyageurs, abstraction faite des buffets à Montereau, Troyes et Epernay, on trouve sur les plans :

Pour Épernay.	445	mètres.
Pour Troyes	480	—
Pour Montereau	645	—

La surface totale des quatre gares de Montereau, Troyes, Blesmes et Creil, ne varie que de 6 à 7 hectares 1/2.

Si on leur a donné une aussi grande étendue, cela tient surtout à la nécessité d'y placer un grand développement de voies, car, à Montereau, les voies occupent plus des trois quarts de la surface totale ; à Troyes, plus de la moitié ; à Creil, les deux tiers, et à Blesmes, environ moitié.

Si, à Epernay, la surface occupée par les voies est beaucoup plus

petite, il faut l'attribuer à ce que l'embranchement de Reims ne se soude à la ligne principale qu'à une certaine distance d'Épernay, hors de la gare. On doit d'ailleurs poser prochainement dans cette gare de nouvelles voies.

Des gares d'embranchement susnommées, Troyes est la plus importante pour le mouvement des marchandises; Épernay, pour celui des voyageurs.

La surface couverte pour le service des marchandises à Troyes est plus que le triple de la surface correspondante sur les chemins de Montereau et d'Épernay; mais le mouvement y est aussi beaucoup plus grand.

La gare de Troyes n'a servi, jusqu'à ce jour, qu'à l'embranchement de Troyes. Elle deviendra prochainement l'une des gares les plus importantes du chemin de Mulhouse, et le point de jonction du chemin de Bar-sur-Seine. On a eu égard à cet avenir en lui donnant les dimensions que nous avons indiquées.

Gare d'Ulm. — La gare d'Ulm est une gare d'embranchement comme celles d'Épernay et de Troyes, où les chemins de Munich à Stuttgard et de Stuttgard au lac de Constance viennent se réunir. Aussi, sur les 8 hectares qui forment la surface de cette gare, plus de 4 sont-ils occupés par les voies.

Dans cette gare, la surface occupée par les voies est égale à la moitié de la surface totale.

Ajoutons que la gare d'Ulm se trouve dans une enceinte fortifiée, que le bâtiment des voyageurs contient un petit buffet, et qu'on y a établi un petit atelier. Les ateliers principaux des chemins wurtembergeois sont à Esslingen.

Gare de Strasbourg. — La gare de Strasbourg, dont la surface est de près de 7 hectares, est trop petite eu égard à son importance; mais le prix excessif des terrains dans l'enceinte d'une place forte rendait son agrandissement très-difficile. Le service des voyageurs y est très-gêné, celui des marchandises n'y a lieu que pour les marchandises partant de Strasbourg ou expédiées à cette destination. Les marchandises de passage sont manutentionnées dans un local distinct au dehors. Le service du matériel y devient impossible et devra se faire prochainement en partie en dehors de la gare,

comme celui des marchandises. Le bâtiment des voyageurs est assez grand, la surface est de 900 mètres. Il contient les salles d'attente, les bureaux, un buffet, etc.

Gare de Metz. — La gare de Metz est plus petite que celle de Nancy, mais le mouvement des voyageurs et des marchandises y est aussi plus faible, et elle se trouve placée dans le voisinage d'une place forte, sur un terrain où il était difficile de l'agrandir.

Le bâtiment des voyageurs, couvrant une surface de 1,440 mètres carrés, est presque le quadruple de celui de Meaux, quoique le mouvement des voyageurs n'y soit pas beaucoup plus grand : cela tient à ce que ce bâtiment contient une salle spéciale pour la messagerie, un assez grand buffet, un grand vestibule d'arrivée, et une grande salle de distribution des bagages à l'arrivée, une salle de messagerie ou de bagages à l'arrivée, un buffet et un vestibule qui n'existent pas à Meaux.

Cette gare est une gare de rebroussement.

La salle pour la messagerie occupe un espace de 451 mètres, le buffet un espace de 240 mètres, le vestibule d'arrivée et la salle des bagages à l'arrivée ont une surface de 565 mètres, espace qui ne diffère plus que de 146 mètres de l'espace occupé par le bâtiment de la gare de Meaux.

Gare de Lille. — A Lille la surface du bâtiment des voyageurs est considérable (1,425 mètres carrés) : cela tient au service très-actif de la banlieue qui s'y fait concurremment avec le service à grande distance des chemins qui s'y réunissent.

Gare de Boulogne. — A Boulogne, les bâtiments pour le service des voyageurs sont plus vastes qu'à Nancy : leur surface est de 2,125 mètres carrés; mais ils contiennent, indépendamment des salles d'attente pour voyageurs et de leurs dépendances, une salle de visite et un buffet.

Gare de Stuttgard. — Stuttgard vient après Boulogne pour la surface couverte consacrée au service des voyageurs (1,760 mètres carrés); les bâtiments y sont exactement de même grandeur qu'à Nancy.

Les salles d'attente sont très-vastes, et le bâtiment renferme, indépendamment de ces salles, un grand buffet. Une partie de l'ad-

ministration est placée dans le bâtiment principal, au premier étage, et une autre partie dans un bâtiment voisin.

Gare de Calais. — Le bâtiment des voyageurs à Calais contient : des salles d'attente, petites à la vérité, mais bien disposées, avec salon spécialement affecté aux dames ; une salle pour la visite des bagages, à l'arrivée ; une salle de douane, un bureau de passeports, un bureau de police, et un assez grand buffet.

Le service des bagages au départ se fait sous la halle, ainsi que la distribution des billets.

Gare de Juvisy. — Juvisy est, comme Troyes et Montereau, une gare d'embranchement ; mais c'est une gare d'embranchement du dernier ordre, car la surface occupée par cette gare n'est que de 4 hectares, dont 3 sont inutilisés. Le mouvement des voyageurs et celui des marchandises surtout y sont très-faibles.

Comparaison. — Si, après avoir étudié les stations ou les gares au point de vue de la surface couverte des bâtiments pour le service des voyageurs, nous comparons la surface couverte par les halles à voyageurs, marquises et abris, nous ferons remarquer que la gare de Lyon-Vaise est celle où cette surface couverte est la plus grande (5,400 mètres carrés) ; que, pour Lille et Blesmes, elle est de 4,000 à 4,500 mètres carrés ; que pour sept autres villes du premier ordre, Stuttgard, Bordeaux, Tours, Gand, Strasbourg, Anvers et Nantes, elle varie de 3,100 à 4,000 mètres carrés ; qu'elle varie de 2,500 à 2,600 mètres carrés pour des villes moins grandes, Ulm, Poitiers, Nancy ; de 1,300 à 2,100 pour des villes moins importantes encore, le Guétin, Metz, Boulogne, Creil, Douai, Valenciennes, Nevers et Saint-Germain-les-Fossés ; et qu'enfin elle ne dépasse pas 300 mètres carrés à Épernay, Troyes et Ostende.

Nous voyons aussi que c'est surtout dans les gares d'embranchement, comme Montereau et Troyes, que la surface occupée par les voies est considérable (40,000 et 60,000 mètres carrés) ; dans celles de rebroussement, comme celle de Valenciennes (164,000 mètres carrés), ou dans quelques gares exceptionnelles, comme Lyon-Vaise (157,000 mètres carrés) ; Poitiers (67,000 mètres carrés) ; Bordeaux, Stuttgard, Nantes, Tours, Malines (40,000, 50,000 et 60,000 mètres carrés).

La place réservée au matériel est, par sa nature, très-variable. Elle n'est très-grande que dans les gares où se font les grandes réparations, telles que celles de Malines (70,000 mètres carrés) et d'Épernay (60,000 mètres carrés).

Nous n'avons jusqu'à présent comparé les gares susdésignées qu'au point de vue du service des voyageurs et du matériel. Si on étudie celui des marchandises à petite vitesse, on trouve que la proportion de la surface couverte varie, à quelque exception près, entre les limites assez écartées de 5 et 20, et le plus souvent de 10 à 15 seulement, le nombre de mètres carrés de cette surface étant de 5 à 20 fois celui des tonnes de marchandises manutentionnées.

La proportion de 20 n'est dépassée que pour la gare de Lille, où elle atteint le chiffre de 30; et elle n'est inférieure à 5 que dans celle de Mons.

A Lille, ce ne sont pas seulement les trottoirs et les voies latérales qui sont couverts: la toiture des halles s'étend sur toute l'étendue des cours, et encore la surface abritée est-elle insuffisante. Cela s'explique par la nature des marchandises manutentionnées dans cette gare.

On y expédie ou on y reçoit surtout des sucres en sac ou raffinés, du riz, des farines, des grains, du poisson, du lin, du tabac, du guano, des huiles, des alcools, du blanc de céruse.

Le service des marchandises, telles que les pierres, les fers, les bois, etc., ne se fait pas à Lille, mais à Fives, au point de bifurcation des lignes conduisant à Bruxelles, à Paris et à Calais.

Les surfaces couvertes pour le service des marchandises dans les gares belges, celle d'Anvers exceptée, sont généralement petites, eu égard au mouvement, parce que, dans ces gares, la manutention et le transbordement d'un waggon à l'autre se font généralement à découvert. A Tournai, bien qu'il y ait un certain mouvement de marchandises, il n'existe aucune halle.

A Mons, où le combustible est presque la seule marchandise manutentionnée, la surface couverte pour les marchandises est très-faible.

La différence de 5 à 20 pour la plupart des stations dans lesquelles on reçoit ou expédie des marchandises de différentes natures

s'explique quand on se rend compte de l'espace nécessaire pour les manutentionner.

Les quais se trouvant placés entre une voie de fer et une chaussée pavée, qui, l'une et l'autre, sont couvertes, il faut doubler au moins la surface de quai nécessaire pour les marchandises d'espèces différentes. Ainsi la manutention de chaque tonne de coton en balles exigeant 5 mètres environ de quai, il en faut 10 au moins de halle couverte. Et celle d'une tonne de marchandises diverses exigeant 7 mètres de quai, il en faut 14.

Nous avons vu que, dans les grandes gares, où les marchandises sont de natures assez variées et nécessitent pour la plupart une manipulation à couvert, la surface couverte varie de 10 à 20 mètres carrés pour chaque tonne expédiée ou reçue. Dans certaines gares anglaises, les marchandises stationnant moins longtemps sur les quais, elle est de 10 mètres carrés.

Dans les stations intermédiaires, où elle descend au-dessous de 10 mètres carrés par tonne, il faut admettre qu'une partie notable des marchandises est manutentionnée à découvert, vu qu'elle est insuffisante.

Telles sont, par exemple, les stations de Château-Thierry, de Raab, etc.

Stations intermédiaires de première classe. — Les stations intermédiaires que nous rangeons dans les premières classes occupent un espace qui varie de 2 à 9 hectares, s'élevant dans un seul cas au-dessus de 7 hectares et descendant rarement au-dessous de 2 hectares.

Nous avons déjà indiqué, page 159 du premier volume, la surface du bâtiment des voyageurs des stations intermédiaires de 1re classe. Nous reviendrons d'ailleurs plus loin sur ces dimensions.

Surfaces couvertes par les marquises. — Les marquises, dans les stations intermédiaires de 1re classe, sont beaucoup moins longues et larges que dans celles des gares hors classe. Leur surface ne s'élève que tout à fait exceptionnellement à 3,000 mètres à Arras et à 1,800 mètres à Vierzon. A Saint-Quentin, elle est de 1,000 mètres, à Meaux et à Châlons-sur-Marne, où les deux trottoirs sont couverts sur toute leur largeur et sur une longueur de

100 mètres, cette surface est de 800 mètres. En général, elle est moins grande, et nous la considérons comme insuffisante.

Surface occupée par les voies. — La surface occupée par les voies dans les stations de première classe n'atteint jamais 40,000 mètres carrés, et elle varie ordinairement entre 20,000 et 30,000 mètres carrés.

Stations des chemins de banlieue. — Les tableaux du *Portefeuille* fournissent comme types de stations de banlieue celles du chemin d'Auteuil, du chemin de Vincennes et quelques stations des chemins du Nord et d'Orléans.

Les deux premiers de ces chemins se trouveront, du moins on le suppose, dans des conditions d'exploitation fort différentes. La nature du service sur le chemin d'Auteuil exige des départs tellement rapprochés, qu'il devient inutile et qu'il serait même impossible d'ajouter des waggons aux convois dans les stations intermédiaires.

Pour le chemin de Vincennes, on a admis que les départs, tout fréquents qu'ils devraient être, le seraient moins cependant que sur celui d'Auteuil, et que l'on se trouverait quelquefois dans la nécessité d'ajouter des waggons aux convois dans les stations intermédiaires; c'est ainsi que l'on a été conduit à poser dans les stations du chemin de Vincennes des voies de garage qui ont nécessité l'emploi de deux changements de voie au lieu d'un, et forcé d'augmenter la longueur ainsi que la largeur de la station.

Au chemin d'Auteuil, tous les bâtiments de station sont construits au-dessus de la tranchée, tandis qu'au chemin de Vincennes ils ne se trouvent ainsi disposés qu'exceptionnellement pour les stations de Vincennes, Saint-Mandé, etc.

Enfin des cours souvent assez vastes, et qu'à la rigueur on pourrait supprimer, ont été ménagées sur le chemin de Vincennes, aux abords du bâtiment, ce qui n'a pas lieu sur celui d'Auteuil.

Ces différentes circonstances expliquent la grande différence que l'on trouve dans l'espace total occupé par les stations intermédiaires sur les deux chemins, et dans celui consacré spécialement aux cours, trottoirs découverts, etc., et que nous avons déjà indiqué dans le premier volume, page 139.

Sur le chemin de Vincennes, de 12,000 à 24,000 mètres carrés; sur celui d'Auteuil, de 2,000 à 4,000 mètres carrés.

Si dans l'avenir il était reconnu que le chemin de Vincennes dût être exploité comme celui d'Auteuil au moyen de convois très-rapprochés, il ne serait pas difficile de revendre alors avec bénéfice les terrains devenus inutiles par la suppression des voies de garage.

Les bâtiments pour salles d'attente sur le chemin de Vincennes sont, pour la plupart, plus petits qu'au chemin d'Auteuil ; cela tient en partie à ce que, sur ce dernier chemin, il se trouve souvent des escaliers latéraux qui n'existent pas au chemin de Vincennes et en partie aussi à ce que, sur le chemin de Vincennes, on se propose de laisser stationner les voyageurs qui attendent le train sur le trottoir couvert, comme cela se fait à Enghien (chemin du Nord), au lieu de les enfermer dans les salles d'attente ou de leur interdire l'abord des trottoirs.

La station d'Enghien, sur le chemin du Nord, est assimilable, quant à la surface totale (18,700 mètres carrés) et à la surface couverte des bâtiments pour voyageurs (455 mètres carrés), à celle de Saint-Mandé. Elle le sera probablement aussi quant au nombre de voyageurs. Mais, à Saint-Mandé, la surface des halles ou marquises est beaucoup plus grande : 2,045 mètres carrés au lieu de 560. Nous pensons qu'à Enghien cette dernière surface est insuffisante.

Le trottoir sur lequel arrivent les voyageurs venant de Paris à Enghien devrait être, selon nous, couvert sur toute sa largeur et sur une grande longueur, aussi bien que le trottoir de départ.

La surface occupée par les voies, à Enghien, est très-grande (12,400 mètres carrés), par suite de la nécessité où l'on se trouve d'y composer et décomposer des trains.

Les voyageurs sont, à Herblay, peu nombreux ; mais le mouvement des marchandises y est assez grand pour une station de banlieue. Aussi trouvons-nous dans cette station un hangar couvert, pour les marchandises, d'environ 500 mètres de surface, hangar qui n'existe que dans une seule des autres stations de banlieue, celle de Choisy.

A Choisy, sur le chemin d'Orléans, le bâtiment est assez vaste et

la marquise insignifiante. Cette station, fort ancienne, a été construite sous l'empire d'idées abandonnées aujourd'hui.

Stations intermédiaires de 2e classe. — Les stations intermédiaires de 2e classe occupent une surface de terrain qui dépasse peu 2 1/2 hectares.

La surface du bâtiment des voyageurs varie de 275 à 330 mètres carrés.

On s'étonnera de ce que la surface couverte soit aussi peu proportionnée au mouvement des voyageurs. Ainsi on remarquera qu'à Lérouville, le mouvement quotidien des voyageurs n'étant que de 23, tandis qu'il est de 118 à Lagny, la surface du bâtiment est de 275 mètres carrés, tandis qu'elle n'est à Lagny que de 55 mètres carrés plus grande.

Cela tient à une erreur commise dans l'appréciation du nombre probable des voyageurs, au moment où l'on a construit la station de Lérouville.

La même observation s'applique aussi à la station de Commercy.

Stations intermédiaires de 3e classe. — Le mouvement moyen des voyageurs dans les stations de 3e classe est ordinairement d'environ 100 voyageurs par jour, mouvement déjà assez important.

Le mouvement des marchandises y a généralement beaucoup moins d'importance que celui des voyageurs.

La surface totale de la gare est de 1 1/2 à 2 hectares environ.

La surface couverte, pour les voyageurs, est d'environ 200 mètres carrés.

La surface consacrée au service du matériel est nulle ou très-petite.

Stations intermédiaires de 4e classe. — L'espace occupé par les stations intermédiaires du dernier ordre dépassant bien rarement 1 hectare, la surface couverte par le bâtiment des voyageurs n'atteint jamais 100 mètres carrés.

Il se trouve, sur le chemin de Strasbourg, plusieurs stations du dernier ordre de plus grandes dimensions; mais cela provient d'une fausse appréciation faite, dans l'origine, de leur importance.

L'espace occupé par le service des marchandises dans ces stations est nul ou à peu près.

Au chemin de l'Est, l'expérience a conduit à augmenter les dimensions du bâtiment des voyageurs pour ces stations du dernier ordre. On a porté la surface à 100 mètres carrés au moins. Le service se fait cependant passablement dans les stations actuelles.

Les données qui précèdent sur les dimensions des bâtiments des stations intermédiaires, aussi bien que sur celles de la gare tout entière, se trouvent résumées pages 138 et 139 du premier volume.

Dimensions de détails.

A ces considérations générales sur les dimensions des bâtiments, marquises, etc., dans les stations, nous joindrons des détails sur les dimensions des différentes parties de ces dépendances de la gare : salles d'attente, salles de bagages, etc.

Nous parlerons d'abord des stations extrêmes.

Gares extrêmes. — Les vestibules qui précèdent les bureaux de distribution des billets doivent, si le public ne peut s'abriter sous des galeries au dehors, être assez vastes pour contenir le plus grand nombre de voyageurs qui puisse, dans un moment donné, se présenter pour obtenir des places, ainsi que leur famille et les amis qui les accompagnent.

Les dimensions du vestibule du chemin de Versailles (rive droite), à Versailles (336 mètres carrés), satisfont bien à ces conditions.

Celles du vestibule de la gare de la rue Saint-Lazare (380 mètres carrés) seraient très-convenables pour le service des trois chemins qui aboutissent à cette gare, chemins de Saint-Germain, Versailles rive droite) et Rouen, alors même que ce vestibule ne serait pas précédé d'un péristyle.

Le vestibule du chemin de fer du Nord enfin, qui a 320 mètres carrés de surface, déduction faite de la partie consacrée à la sortie des voyageurs, et celui du chemin de Strasbourg à Paris, qui a 434 mètres carrés, paraissent être de grandeur très-convenable pour des lignes de première importance. Celui de Lyon, cependant, est plus grand encore, sa surface est de 630 mètres carrés.

Lorsque la queue peut se former sous un péristyle au dehors, ou

doit retrancher de la surface du vestibule, calculée suivant la règle que nous venons de donner, celle du péristyle.

On trouvera plus loin des indications relatives aux dimensions des salles d'attente, des bureaux pour la distribution des billets, bureaux du chef de gare, du commissaire de surveillance, etc., dans les stations intermédiaires. Ces indications peuvent s'appliquer aussi aux gares extrêmes, en faisant remarquer toutefois que l'importance du service dans les gares extrêmes motive des dimensions un peu plus grandes, surtout pour les bureaux de distribution des billets.

Les salles de bagages doivent être le plus vastes possible, afin que la manutention s'y fasse commodément. Quelquefois, les départs de deux trains étant très-rapprochés, la manutention des bagages qu'ils doivent transporter doit se faire presque au même moment. Si la totalité de ces bagages devait être déposée en même temps dans la salle, il faudrait donner à cette salle une énorme surface; mais on emmène ordinairement et on charge dans le waggon à bagages les colis aussitôt qu'ils ont été pesés, de sorte qu'une partie seulement reste en dépôt. Ce n'est qu'en procédant de cette manière que l'on parvient à faire le service dans les salles des bagages, au départ, du chemin de Strasbourg, bien que la surface de ces salles trop petites ne soit que de 127 mètres carrés environ, les tables de réception n'ayant que 20 mètres de longueur. La quantité maxima de bagages chargés dans deux trains qui se suivent à une demi-heure de distance a été, sur ce chemin, de 400 et quelques colis. Les dimensions de la salle des bagages, au départ, du chemin de Lyon satisfont beaucoup mieux aux exigences du service d'une grande ligne. Cette salle a 580 mètres de surface.

Les salles de bagages à l'arrivée, celle surtout où se fait la visite de l'octroi, doivent être plus grandes que celles destinées au départ.

Nous avons parlé plus haut de la disposition des salles de bagages et messageries; les tableaux suivants indiquent leurs dimensions sur différents chemins.

DIMENSIONS DES SALLES DE BAGAGES AU DÉPART.

	NORD.		LYON.		ORLÉANS.		EST.		OUEST.	
	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.
Longueur des tables...	96.70	»	42,70	»	30,30	»	20,10	»	29,90	»
Largeur *Id.*	0,80	»	0,80	»	0,95	»	1,00	»	1,00	»
Surface....................	»	77,30	»	34,16	»	28,70	»	20,10	»	29,90
Surface des bureaux..........	»	21,06	»	26,18	»	105,97	»	14,40	»	13,12
Espace des voyageurs......	»		»		»		»		»	
Largeur.............	»		4,60	»	4 et 2,25	»	4.35	»	3,85	»
Longueur............	»		49,20	»	39,45	»	»		30,00	»
Surface....................	»	168,54	»	228,32	»	130,88	»	45.75	»	138,60
Espace de la Compagnie....	»		»		»		»		»	
Largeur.............	»		4,30	»	4,10 et 2.00	»	3,10	»	4,15	»
Surface....................	»	160,13	»	282,43	»	178,23	»	16,50	»	34,38
Salle des bagages.....	»		»		»		»		»	
Longueur............	23,80	»	59,70	»	49,70	»	15,00	»	38,00	»
Largeur.............	30.55	»	9 70	»	9,05	»	8.15	»	6.00	»
Surface totale..............	»	729,09	»	579,09	»	449,78	»	120,75	»	216,00

DIMENSIONS DES SALLES DE BAGAGES A L'ARRIVÉE

	NORD.		LYON.		ORLÉANS.		EST.		OUEST.	
	m.	m. q.	m	m. q	m	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.
Salle des bagages.........	»		»		»		»		»	
Longueur............	65,70	»	69,60	»	66.00	»	68,00	»	25,20	»
Largeur	9,85 et 14	»	10,95	»	12,00	»	6,90	»	16,50	»
Surface....................	»	753,15	»	762,12	»	792,00	»	469,20	»	410,76
Longueur des tables..	131,40	»	139,20	»	132.00	»	136,00	»	87.30	»
Largeur.............	0,70	»	0,80	»	0,70	»	0,80	»	0,09	»
Surface....................	»	82,60	»	111,36	»	92,14	»	108,80	»	78,57
Largeur entre les deux........	1,00	»	0.75	»	0,95	»	0,80	»	1,10	»
» pour la Compagnie..	1,60	»	1,60	»	2,10	»	0,80	»	3,12 (moy.)	»
» pour les voyageurs...	5,50 (moyenne)	»	6,00	»	7,55	»	3,70	»	4,18	»
» pour fosses à wagons.	3,40	»	»		»		»		»	
Surface pour la Compagnie......	»	170,82	»	163,56	»	201,56	»	168,80	»	262,95
» pour les voyageurs.....	»	350,75	»	417,66	»	498,30	»	251,66	»	75,24
Salle d'attente......	»		»		»		»		»	
Longueur............	»		29,40	»	19,00	»	59,60	»	16,20	»
Largeur	»		15,10	»	12,00	»	4,20	»	3,60	»
Surface....................	»		»	443,94	»	228.66	»	247.80	»	58,32
Surface de la fosse............	»	223,33	»		»		»		»	
Total pour l'arrivée......	»		»		»		»		»	
Longueur	65 70	»	99,00	»	85.00	»	68.60	»	28,80	»
Largeur.........	9,85 et 14	»	10,95 et 15,10	»	12.00	»	6,90 et 11.16	»	16,30	»
Surface totale	»	753,15	»	1206,06	»	1020,60	»	716,80	»	469,68

DIMENSIONS DES SALLES DE MESSAGERIES AU DÉPART.

	NORD.		LYON.		ORLÉANS.		EST.	
	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q.
Longueur des tables.	»		12,25	»	»		»	
Largeur...........	»		0,80	»	»		»	
Surface.................	»		»	9,80	»		»	
Surface des bureaux......	»	47,97	»	4[illegible],75	»	62,20	»	3[illegible],35
» réservée au public.	»	81,00	»		»		»	
» » à la Cie...	»	4[illegible]3,72	»		»		»	
» commune.........	»		»	246,62	»	197.56	»	335,00
» de la Consigne....	»	27,50	»		»		»	
Surface de la Messagerie..	»		»		»		»	
Longueur.......	42,15	»	31,85	»	27,20	»	28,65	»
Largeur..... ...	16,70 et 10,80	»	9,55	»	9,55	»	15,00 et 7,60	»
Surface totale............	»	620,19	»	304,17	»	259,76	»	370,55

DIMENSIONS DES SALLES DE MESSAGERIES A L'ARRIVÉE.

	NORD.		LYON.		ORLÉANS.		EST.	
	m.	m. q	m	m. q.	m.	m. q.	m.	m. q
Surface des bureaux......	»	194,54	»	54,75	»	48,00	»	61,09
» commune.........	»	147,96	»	269,37	»	18,00	»	[illegible]23,76
» de la Consigne....	»		»		»		»	44,61
Longueur......	25,00	»	29,60	»	5,50	»	20,10	»
Largeur.........	13,70	»	10,75	»	12,00	»	14,90	»
Surface totale............	»	342,50	»	324,12	»	66,00	»	379 49

DIMENSIONS DES SALLES DE DOUANE.

	NORD.	LYON.	ORLÉANS.	EST.
SALLE D'ATTENTE :	m. m. q			m m. q
Longueur............	22,30 »	»	»	10,30 »
Largeur................	9,20 »	»	»	3,85 »
Surface................	» 205,16	»	»	» 39,66
TABLES :				
Longueur..........	73,00 »	»	»	30,95 »
Largeur...............	1,00 »	»	»	0,80 »
Surface...............	» 73,00	»	»	» 24,76
Surface des bureaux......	» 337,17	»	»	» 20,29
» réservée au public	» 113,57	»	»	» 71,19
» » à la Cie...	» 505,00	»	»	» 221,62
» de la Consigne....	» 121,35	»	»	» »
SALLE TOTALE :				
Longueur...............	61,80 »	»	»	24,20 »
Largeur................	22,30 »	»	»	15,60 »
Surface totale.........	» 1378,14	»	»	» 377,52

RÉCAPITULATION.

	NORD.	LYON.	ORLÉANS.	EST.	OUEST.
BAGAGES :	m. m q	m. m. q	m. m. q	m m. q.	m.
Départ.........	729,09 »	579.09 »	449,78 »	126,75 »	216.00
Arrivée.......	753,15 »	1206.06 »	1020,00 »	716,80 »	469,08
Surface totale..	» 1482,24	» 1785,15	» 1469,76	» 843,55	»
MESSAGERIES :					
Départ.........	620,19 »	304,17 »	259,76 »	370,55 »	»
Arrivée........	342.50 »	324.12 »	66,00 »	329,49 »	»
Surface totale..	» 962,69	» 628,29	» 325,76	» 700,04	»
DOUANES....	» 1318,14	»	»	» 377,52	»
Surface totale...	3373 07 »	2413 44 »	1795,54 »	1921,11 »	»

COMPARAISON DES SURFACES DE DÉPART ET D'ARRIVÉE.

	NORD.	LYON.	ORLEANS.	EST.	ROUEN Ouest.	OUEST Projet.
	m q.	m. q.	m. q.	m q.	m. q.	m q.
Départ.....	1349,28	883,26	709,54	497,30	216,00	1392,00
Arrivée.....	2473,77	1530,18	1080 00	1423,81	469,08	2050,00

Salles d'attente. — Les dimensions des salles d'attente doivent être en rapport avec le nombre des voyageurs des différentes classes partant par chaque convoi. Lorsque le service se fait comme en France, chacune des salles d'attente doit pouvoir loger à l'aise deux fois au moins le nombre de voyageurs qu'elle est destinée à contenir.

Le rapport entre les nombres de voyageurs des diverses classes sur les différents chemins de fer varie dans des limites très-étendues.

La superficie des salles d'attente pour les trois classes de voyageurs est :

Au chemin de l'Est, de. . . . 485 mètres.
— de Lyon, de. . . . 415 —
— du Nord, de. . . . 365 —
— d'Orléans, de. . . . 310 —

Le mouvement moyen journalier des voyageurs dans la gare de Paris du chemin de Strasbourg

est { au départ, de. . . . 1,450 voy.
à l'arrivée, de. . . . 1,527

Le nombre maximum des voyageurs se présentant en même temps pour le départ a été de 1,005.

Pour déterminer l'étendue à donner aux salles servant aux voyageurs des différentes classes, il faudrait bien se garder d'établir

entre les surfaces de ces salles exactement le même rapport qu'entre les moyennes des voyageurs présumés devoir occuper les voitures de chacune des trois classes. Ce rapport n'est pas toujours le même. Il varie pour les différentes stations, et non-seulement le nombre absolu, mais encore le rapport de ce nombre au nombre total est beaucoup plus grand certains jours de l'année que les autres jours. C'est le nombre maximum qui doit servir à déterminer les dimensions des salles.

Ainsi supposons un chemin sur lequel le nombre moyen des voyageurs de troisième classe partant chaque année d'une des gares extrêmes, soit de 60 pour 100 du nombre total des voyageurs, et dont les convois les plus chargés, les jours de fête, soient de 300 personnes; si l'on admettait pour rapport entre le nombre des voyageurs de troisième classe et le nombre total des voyageurs dans un convoi de 300 voyageurs ce rapport moyen de 60 pour 100, il s'ensuivrait que les convois les plus chargés ne porteraient jamais au delà de 180 voyageurs de troisième classe, et que, par conséquent, il suffirait que la salle d'attente en pût renfermer 360. Il arrive cependant que, les jours de certaines fêtes populaires, la proportion des voyageurs de troisième classe augmente sensiblement; il faut donc prévoir cette augmentation.

Sur nos chemins des environs de Paris, le nombre total des voyageurs de différentes classes se trouvant en même temps dans les salles d'attente certains jours, à certaines heures, est énorme.

Ainsi on a vu à Versailles, quelques moments après que les grandes eaux avaient cessé de jouer, l'immense salle d'attente du chemin de la rive droite, qui peut contenir plus de 2,500 personnes, entièrement remplie et la foule se presser encore dans le vestibule.

Il partait alors, de demi-heure en demi-heure, des convois qui, composés de 25 à 30 waggons, emportaient jusqu'à 1,200 voyageurs à la fois.

L'espace réservé pour chaque voyageur dans les salles d'attente doit être proportionnellement plus grand pour ceux de première classe que pour ceux de seconde et que pour ceux de troisième. C'est là encore une circonstance dont il faut tenir compte lorsqu'on

calcule les dimensions des compartiments consacrés aux différentes classes.

Quand la gare est en remblai ou sur arcades, les escaliers qui conduisent aux salles d'attente peuvent n'être pas très-larges, puisque les voyageurs montent successivement et en petit nombre après avoir pris leurs billets ; mais il n'en est pas de même des escaliers de sortie : ils doivent être très-larges et ne pas être trop roides. Nous conseillons aussi d'établir une main courante dans le milieu, comme on l'a fait au chemin de Saint-Germain.

Bureaux. — Il n'est pas de règle à établir, on le conçoit, pour calculer la dimension des bureaux de l'administration, comme pour déterminer celle des salles d'attente.

Quai à marchandises. — La surface des quais à marchandises peut être calculée d'une manière approximative, au moyen des chiffres suivants :

ÉTAT DES SURFACES

DE QUAI NÉCESSAIRES POUR LE DÉPÔT ET LA MANUTENTION D'UNE TONNE DE CHAQUE NATURE DES MARCHANDISES CI-APRÈS.

NATURE DES MARCHANDISES.	SURFACE PAR TONNE.	OBSERVATIONS.
	mètres.	
Cotons en balles.	5	1° Les fers et fontes doivent être placés d'une manière comptable, c'est-à-dire rangés de telle sorte qu'on puisse compter facilement les barres et sapots de chaque expédition. 2° Les surfaces ci-dessus sont applicables aux expéditions comme aux arrivages, à l'exception toutefois des marchandises diverses, pour lesquelles il convient d'ajouter un septième de surface en plus *à l'arrivée*. (Chaque expédition, se trouvant dans cette condition, devant être séparée distinctement de celles qui l'avoisinent, ce qui n'a pas lieu à l'expédition, où les marchandises sont placées par stations destinataires seulement.)
Farines et blés en sacs. .	2.50	
Sucre en pains.	8	
Vins en fûts.	5	
Fers et fontes..	2	
Marchandises diverses de toute espèce et de toute nature.	7	

Dans certains moments, on est conduit par la nécessité à loger

dans un certain espace et à manutentionner dans cet espace une quantité de marchandises beaucoup plus grande que celle indiquée au tableau, en empilant les colis sur une grande hauteur; mais le service se fait alors à grands frais et dans de mauvaises conditions.

Stations intermédiaires. — Aux chemins de l'Est les surfaces des bâtiments des stations intermédiaires construites aujourd'hui ont des grandeurs très-variables; ces bâtiments toutefois, en exceptant les stations que l'on peut placer hors classe, comme celles de Paris, Strasbourg, Nancy, Metz, Frouard et Forbach, peuvent se rapporter à six types.

Bâtiment. — Le plus grand couvre une superficie de terrain d'environ. . . . . . . 405 mètres carrés.

Le second..	de 260 à 275	—
Le troisième.	de 220 à 235	—
Le quatrième..	de 200 à 220	—
Le cinquième..	de 120 à 155	—
Le sixième.	de 85 à 105	—

Les bâtiments des stations des cinq premiers types se composent d'un corps de bâtiment central avec un rez-de-chaussée et un premier étage. C'est au rez-de-chaussée du corps de bâtiment central que sont placés le bureau des billets, le bureau des bagages, la salle d'attente de 1re classe et le vestibule. Le chef de la station loge au premier. Les salles d'attente de 2e et de 3e classe, le bureau de la messagerie, le cabinet du chef de station et les autres dépendances se trouvent dans les ailes.

Au premier type appartiennent les stations de Lunéville, Bar-le-Duc et Pont-à-Mousson.

Au second, celles de Toul, Vitry-le-François, Commercy, Sarrebourg et Lérouville.

Au troisième, celles d'Ars, Brumath, Hochfelden et Novéant.

Au quatrième, les stations de Revigny, Nançois-le-Petit, Sermaize, Héming, Avricourt, Varangeville et Saint-Avold.

Au cinquième, Emberménil, Rosières, Blainville, Marainvillers, Steinbourg, Dettwiller, Mommenheim, Vendenheim, Lutzelbourg, Faulquemont, Foug, etc.

Au sixième et dernier, Peltre, Courcelles, Remilly, Marbache, Hombourg et Cocheren.

Salles d'attente. — La superficie totale des salles d'attente des trois classes du premier type est d'environ. . 100 mètres carrés.

Du deuxième type.	80	—
Du troisième type.	60	—
Du quatrième type.	60	—
Du cinquième type.	40	—
Du sixième type.	25	—

Le premier type peut suffire à un mouvement journalier de 200 voyageurs et pour un nombre maximum de 450 voyageurs se présentant à la fois.

Ce mouvement moyen est celui de la station de Lunéville. Le nombre maximum est aussi celui qui a été fourni par le chef de cette station. 450 voyageurs répartis sur une surface de 100 mètres carrés seraient sans doute fort gênés; mais, une pareille affluence ne se présentant que tout à fait exceptionnellement dans la belle saison, on peut faire sortir une partie des voyageurs, si ce n'est la totalité, sur le trottoir; c'est alors qu'il devient avantageux d'établir des marquises couvrant le trottoir dans toute sa largeur et sous lesquelles on peut abriter les voyageurs en les renfermant dans des barrières, si on le juge nécessaire.

Le second type admet un mouvement journalier de 100 voyageurs et un mouvement maximum en un moment donné de 300, comme à Toul.

Le troisième, un mouvement journalier moyen de 90 voyageurs et un mouvement maximum en un moment donné de 600 voyageurs, comme à la station d'Ars, mouvement pour lequel les salles d'attente étaient tout à-fait insuffisantes.

Le plus grand mouvement moyen journalier et le mouvement maximum en un moment donné pour le quatrième type ont eu lieu dans la station de Varangeville, où la circulation moyenne des voyageurs est de 45 par jour, et où l'on a compté jusqu'à 160 voyageurs à la fois.

Pour le cinquième type, le mouvement moyen journalier des

voyageurs varie de 12 à 25 seulement; le mouvement maximum en un moment donné est, dans la plupart des stations, de 30 à 40 voyageurs. Dans celle de Dettwiller cependant, il a atteint 80, et dans celle de Vendenheim 106.

Dans les stations du dernier ordre, on ne compte pour le mouvement journalier que de 12 à 20 voyageurs, et le mouvement maximum en un moment donné n'a varié que de 12 à 57. — La salle d'attente, servant pour les trois classes dans les stations dont le bâtiment couvre une surface de 84 mètres carrés, paraît suffisante. La superficie est d'environ 25 mètres; mais le bureau du chef de station, servant à la distribution des billets, et la salle des bagages et messagerie, servant aussi de lampisterie, sont trop petits. En les agrandissant convenablement, on porte la superficie totale de 104 à 108 mètres environ.

Si on admet qu'une partie des voyageurs peut trouver place sur le trottoir, la surface des salles doit être seulement suffisante pour renfermer le nombre que l'on suppose devoir y séjourner, celui, par exemple, qui formera le mouvement maximum en un moment donné en hiver. C'est en partant de cette dernière base qu'on s'est borné à donner aux salles d'attente de la station d'Enghien-Montmorency une surface de 54^{m},30 carrés.

Le mouvement maximum en un moment donné des voyageurs dans les stations intermédiaires dépend en même temps du nombre des voyageurs qui se présentent par un train et du nombre des trains qui passent à la même heure ou à une petite distance les uns des autres. Deux trains qui se croisent dans la station passent exactement à la même heure. C'est un cas assez commun. A la station d'Épernay, où le chemin de Reims vient se souder au chemin de Strasbourg, on est souvent obligé de réunir dans une même salle des voyageurs de trois trains.

Lorsqu'on calcule les dimensions des stations, il faut non-seulemens avoir égard au mouvement que l'on suppose avoir lieu à l'époque de l'ouverture du chemin, mais encore tenir compte des accroissements de mouvement présumés, ou, mieux encore, il faut s'arranger de manière à pouvoir agrandir les salles d'attente en ajoutant une ou plusieurs travées au bâtiment.

Pavillon central. — Comme il est, en général, excessivement difficile de se rendre à l'avance un compte exact du mouvement d'une station, ce dernier parti est évidemment le meilleur à prendre pour les salles de bagages et pour les halles à marchandises aussi bien que pour les salles d'attente. Il n'y a que le corps de bâtiment central à deux étages que l'on ne puisse pas agrandir; aussi faut-il s'appliquer à lui donner d'emblée les dimensions convenables. La surface de ce corps de bâtiment central est .

Dans les bâtiments	du premier type, de. .	175 mètres.
—	du deuxième type, de. .	125
—	du troisième type, de. .	97
—	du quatrième type, de. .	105
—	du cinquième type, de. .	90 à 105

La surface couverte par le bâtiment central des quatrième et cinquième types est plus grande que celle converte par le bâtiment du troisième type, parce que dans les deux derniers types les ailes ont été supprimées.

Bagages et messagerie .— De même que les voyageurs se placent sur le trottoir lorsque la salle d'attente est insuffisante pour les contenir, de même une partie des bagages est déposée sous une marquise ou sous un abri spécial. On doit donc, dans le calcul de la surface à donner aux salles de bagages, avoir égard à cette circonstance.

Ce n'est pas la quantité totale des bagages correspondant à un certain mouvement maximum qui doit être déposée et manutentionnée dans la salle, mais une partie seulement de cette quantité.

Le volume des articles de bagages et de messagerie exerce sans doute plus d'influence encore que le poids sur l'espace qui doit être consacré au service. Les articles messagerie sont généralement moins volumineux que les articles bagages. On peut admettre que le volume des premiers pour un même poids est à peu près moitié du volume des seconds.

Pour nous rendre compte, au moins approximativement, de l'espace nécessaire pour déposer et manutentionner une certaine quantité de bagages et de messagerie, nous avons fait accumuler

sur un mètre carré la plus grande quantité de bagages de diverses natures que l'on est dans l'habitude d'y loger, lorsque l'exiguïté de la salle ne force pas à se gêner, et, sur l'avis qui nous a été donné par les chefs de station les plus expérimentés, nous avons doublé cet espace pour déterminer celui qui est nécessaire à la manutention de ces bagages.

De cette manière, nous avons trouvé que, pour déposer et manutentionner convenablement 1,000 kilogrammes de bagages, il fallait un espace de 20 à 25 mètres carrés, ou, en d'autres termes, qu'on pouvait manutentionner 40 à 50 kilogrammes de bagages par mètre carré.

Dans des cas exceptionnels, on en manutentionne certainement une plus grande quantité, mais alors le service se fait péniblement et chèrement.

Pour les articles messagerie, on réduira de moitié l'espace nécessaire au dépôt.

Ayant ainsi égard au mouvement maximum des bagages et de la messagerie, et supposant qu'une partie peut être déposée sur le trottoir, on a réglé de la manière suivante, sur le chemin de Strasbourg, la surface des salles de bagages et messagerie.

Stations de Bar-le-Duc, de Lunéville et de Pont-à-Mousson (premier type)		63 à 75	mètres carrés.
Stations du	deuxième type	50	—
—	troisième type	25 à 30	—
—	quatrième type	20 à 25	—
—	cinquième type	16 à 25	—
—	sixième type	16	—

Dans les stations des deux premiers types, la manutention des bagages et des articles messagerie se fait dans des compartiments séparés. La division de l'espace entre les diverses natures d'objets a lieu suivant le rapport des quantités transportées existant. Ainsi, lorsque, dans la station de Bar-le-Duc, les deux surfaces pour les bagages et la messagerie sont à peu près égales, la surface réservée à la messagerie à Pont-à-Mousson est moins du tiers de la première. C'est qu'à Pont-à-Mousson l'on charge très-peu d'articles message-

rie et beaucoup de bagages, tandis qu'à Bar-le-Duc on charge à peu près quantités égales des uns et des autres.

Dans les stations des quatre derniers types, les bagages et les articles messagerie sont manutentionnés dans une seule et même salle, qui, dans les troisième, quatrième et cinquième types, sert aussi à la distribution des billets; le sixième type comprend encore la lampisterie.

Bureau du chef de station. — Le bureau du chef de station, s'il contient l'appareil pour le télégraphe, n'a pas, dans les stations du premier et du deuxième type, moins de 25 à 26 mètres carrés de surface.

Dans les stations du troisième et du quatrième type, à l'exception d'Ars, toutefois, on n'a donné au bureau du chef de station que 12 mètres environ. A la station d'Ars, sa superficie est d'environ 20 mètres, mais il sert à la distribution des billets. Cette dimension est insuffisante; le bureau du chef de station doit, dans les stations du troisième et du quatrième type, avoir 16 mètres de surface.

Dans les stations du cinquième type, la surface du bureau du chef de station est aussi de 16 mètres; il sert non-seulement pour le télégraphe, mais encore pour la distribution des billets.

Dans les stations du sixième type enfin, comme dans celles des types précédents, le bureau du chef de station a ou doit avoir 16 mètres de surface, parce qu'il sert aussi à la distribution des billets.

Bureaux des billets. — Les locaux spécialement affectés à la distribution des billets ont, dans les stations du premier type, 12 mètres carrés de surface; dans celles du deuxième type, ils ont 10 mètres carrés.

Dans celles du quatrième et du cinquième type, ces locaux n'ont que 5 mètres, mais il faut leur donner de 8 à 9 mètres.

Dans les stations du troisième type, Hochfelden, Brumath, etc., la distribution des billets se fait dans la salle des bagages, dont la surface est de 24 mètres carrés.

On ne comprend un local spécial pour le télégraphe que dans les stations où est placé un employé de l'État. Cet employé couchant

dans le cabinet du télégraphe, il faut donner à ce cabinet les mêmes dimensions qu'à celui du chef de gare.

Commissaire de surveillance. — Le cabinet du commissaire de surveillance, dans les grandes stations, a également de 15 à 16 mètres carrés de surface.

Vestibule. — La surface du vestibule, dans les stations du premier type, est de. . . . . 30 à 35 mètres carrés.

Dans celles des deuxième, troisième et quatrième types.	25 à 28	—
Dans celles du cinquième type. . .	21 à 24	—
— sixième type. . . .	10	—

Lampisterie. — La lampisterie, dans les grandes stations, a 16 mètres carrés; dans les stations de deuxième, troisième et quatrième ordre, elle n'a que de 10 à 13 mètres et sert quelquefois de magasin. Dans les stations du dernier ordre, elle est réunie à la salle des bagages et de la messagerie, qui doit avoir 16 mètres de superficie au moins.

Le magasin, quand il en existe un, est à peu près de mêmes dimensions que la lampisterie.

Latrines. — La surface des bâtiments de latrines est, dans les grandes stations, comme Meaux, Château-Thierry, Lunéville, Bar-le-Duc, de 25 à 40 mètres par chaque pavillon.

Dans les stations de moindre importance, où le temps d'arrêt des trains est toujours fort court, elle n'est que de 20 à 25 mètres.

Quais à voyageurs. — La surface des quais pour les voyageurs est, pour les deux côtés de l'arrivée et du départ :

Dans les stations du premier type.	916 mètres.
— deuxième type.	886
— troisième type.	676
— quatrième type.	705
— cinquième type.	546
— sixième type.	740

Les quais ont en longueur 80 ou 100 mètres, et en largeur 3, 4 et 5 mètres.

Buffets. — Les buffets occupent une surface de 350 mètres pour le premier type et de 280 mètres pour le second.

A Epernay, où s'arrêtent le plus de trains, la surface occupée par le buffet est de 800 mètres environ; la salle pour la table d'hôte a seule près de 400 mètres carrés. Il est vrai qu'elle doit recevoir quelquefois jusqu'à 150 voyageurs.

Les stations du chemin de Strasbourg entre Paris et Vitry n'étant pas encore établies, les projets pour les nouvelles stations viennent d'être terminés. La station de Meaux recevant à peu près le double de voyageurs que celle de Bar-le-Duc, on a agrandi les salles d'attente et de bagages en allongeant les ailes, et on a porté ainsi la surface du bâtiment de 405 mètres carrés à 470.

Pour la station de Bondy, on a adopté le deuxième type, celui de la station de Sarrebourg, en donnant deux fois plus de longueur au bâtiment central, ce qui a permis de consacrer un espace un peu plus grand au bureau des billets en allongeant chacune des ailes d'une travée.

Les types adoptés pour les nouveaux chemins de l'Est diffèrent peu, quant à la grandeur de l'ensemble et des parties, de ceux du chemin de Paris à Strasbourg.

Une étude approfondie des besoins du service a conduit à conserver généralement pour les types de même importance non-seulement la même surface pour l'ensemble du bâtiment, mais encore la même étendue pour le bâtiment central, pour les salles d'attente, les salles de bagages, les bureaux du chef de gare et de distribution des billets, etc. On n'a agrandi que le type n° 6, en donnant au bâtiment de 105 à 115 mètres de surface au lieu de 80 ou 85.

Stations hors classe. — Nous n'avons pas fait mention des stations hors classe, parce que les dimensions de certaines parties de ces stations, telles que les salles d'attente et de bagages, sont très-variables, suivant leur importance. Nous croyons utile cependant de présenter les tableaux suivants de leurs principales dimensions :

DISTRIBUTION.	NANCY.	METZ.	STRASBOURG.	FORBACH.
	m²	m²	m²	m²
Vestibules	228,00	93,00	155,00	93,00
Bureaux des billets	12,65	14,00	10,00	10,00
Salles d'attente	176,80	189,00	242,00	103,00
Bureau du chef de gare	23,16	16,00	24,00	11,00
— du sous-chef de gare	5,93	22,20	12,85	11,00
— du commissaire de surveillance	10,65	16,00	39,55	13,00
— — de police	»	»	»	14,00
— du télégraphe	9,18	11,00	25,20	8,00
Salle des bagages { arrivée	140,00	19,00	284,50	28,00
Salle des bagages { départ	118,25	286,00	242,00	39,00
Salle de visite	51,00	40,00	»	107,00
Bureaux de la messagerie	23,50	417,00	»	»
— de la douane	9,60	82,00	120,00	125,00
Lampisterie	25,75	36,00	39,00	15,00
Latrines	42,00	60,00	95,00	67,00
Buffet et dépendances	174,00	159,00	210,00	95,00

Résumé comparatif. — Il était intéressant de comparer les dimensions de nos stations intermédiaires à celles des stations des autres lignes. Les dimensions des stations intermédiaires des chemins de l'Ouest sont indiquées dans les tableaux pages 166, 167, 168 et 169.

Chemin de l'Ouest. — Si l'on compare les bâtiments des stations sur les chemins de fer de l'Est et sur ceux de l'Ouest, on trouve que le bâtiment principal contenant les salles d'attente est plus petit dans les stations de différentes classes à l'Ouest qu'à l'Est; mais en compensation il existe au chemin de l'Ouest des bâtiments annexes que l'on ne trouve pas sur les chemins de fer de l'Est, et qui renferment une partie des bureaux ou salles contenues à l'Est dans le bâtiment principal. Voir les plans pages 106 à 110 et les tableaux ci-contre.

Ainsi le bâtiment des salles d'attente dans les stations de première classe des chemins de fer de l'Ouest n'a que 320 mètres de surface, tandis qu'à l'Est cette surface est de 400 à 450 mètres; mais le bâtiment annexe de droite a 111 mètres de surface, et celui de gauche 111 mètres également, ou 80 mètres, déduction faite des latrines.

CHEMIN DE FER DE L'OUEST

SERVICE DES VOYAGEURS

Aménagements des gares intermédiaires au delà de Caen.

CLASSIFICATION.	1re CLASSE. Au-dessus de 3,000 voyag^rs par mois à l'expédition.				2e CLASSE. De 1,500 à 3,000 voyageurs par mois à l'expédition.				3e CLASSE. Au-dessous de 1,500 voyag^rs par mois à l'expédition.			
	NOMBRE.	DIMENSIONS.			NOMBRE.	DIMENSIONS.			NOMBRE.	DIMENSIONS.		
		Long^r.	Larg^r	Surf^ce.		Long^r.	Larg^r	Surf^ce.		Long^r.	Larg^r	Surf^ce.
		m.	m.	m.		m.	m.	m.		m.	m.	m.
1°. — *Abords.*												
Chemin	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Cour	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
2°. — *Bâtiment principal.*		32 »	10 »	320 »	»	22 50	8 50	191 25	»	17 »	8 »	136 »
Vestibule	1	23 50	4 »	94 »	1	14 20	3 »	42 60	»	» »	» »	» »
Salle d'attente des 2e et 3e classes	1	11 »	4 93	54 45	1	6 40	4 60	29 44	1	8 50	7 »	59 50
Salon des 1res classes	1	5 60	5 »	28 »	1	3 90	4 50	17 55	1	3 25	4 25	13 81
Water-closet des 1res classes, avec petit salon	1	1 90	3 80	7 22	»	1 90	2 90	5 51	1	1 70	2 65	4 50
Bureaux pour les chefs de gare	1	4 55	2 90	13 20	1	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Bureaux pour les billets	1	3 50	2 »	7 »	1	2 80	4 60	12 88	1	3 »	2 50	7 50
Bureaux pour le service des bagages et de la messagerie	1	6 »	5 »	30 »	1	5 »	4 60	23 »	1	3 25	4 50	14 62
Bureaux pour l'enregistrement des bagages et de la messagerie	1	3 25	4 90	15 90	1	2 90	4 15	12 03	»	» »	» »	» »
Bureaux pour les articles bureau restant	1	3 25	4 »	13 »	1	2 90	3 35	9 71	1	3 25	2 50	8 12
Logem^t du chef de gare. Cave	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »
Logem^t du chef de gare. Cuisine	1	3 85	3 50	13 45	1	4 10	2 70	11 07	1	2 25	2 30	5 17
Logem^t du chef de gare. Water-closet	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »
Logem^t du chef de gare. Salle à manger	1	3 85	5 20	20 40	1	4 50	3 65	16 42	1	4 20	2 35	9 87
Logem^t du chef de gare. Salon	1	3 85	5 20	20 40	1	4 50	3 75	16 87	»	» »	» »	» »
Logem^t du chef de gare. Chambres à coucher	2	3 85	3 90	14 »	2	4 10	3 75	15 37	2	3 20	4 10	13 12
Logem^t du chef de gare. Chambre de bonne	1	3 85	3 50	13 45	1	3 10	2 60	8 06	»	» »	» »	» »
Logem^t du chef de gare. Grenier	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »
3°. — *Quais, marquises, abris, divers.*												
Quais de voyag^rs. Côté descendant	1	130 »	6 »	780 »	1	130 »	6 »	780 »	1	130 »	6 »	780 »
Quais de voyag^rs. Côté montant	1	130 »	6 »	780 »	1	130 »	6 »	780 »	1	130 »	6 »	780 »
Marquises. A l'extérieur	1	12 50	4 »	50 »	1	12 50	4 »	50 »	»	» »	» »	» »
Marquises. Sur le quai de la station	1	32 »	4 »	128 »	1	22 50	4 »	90 »	1	17 »	4 »	68 »
Marquises. Sur le quai opposé à la station	1	23 »	3 90	89 70	1	16 »	3 90	62 40	1	13 »	3 90	50 70

CHEMIN DE FER DE L'OUEST

SERVICE DES VOYAGEURS

Aménagement des gares intermédiaires au delà de Caen.

(SUITE.)

CLASSIFICATION.	1re CLASSE. Au-dessus de 3,000 voyagrs par mois à l'expédition.				2e CLASSE. De 1,500 à 3,000 voyageurs par mois à l'expédition.				3e CLASSE. Au-dessous de 1,500 voyagrs par mois à l'expédition.			
	NOMBRE.	DIMENSIONS. Long.	Larg	Surf.	NOMBRE.	DIMENSIONS. Long.	Larg	Surf.	NOMBRE.	DIMENSIONS. Long.	Larg	Surf.
		m.	m.	m.		m.	m.	m.		m.	m.	m.
Abris à bagages. En tête du quai descendant.	1	5 50	5 50	30 25	1	5 50	3 50	19 25	»	» »	» »	» »
Abris à bagages. En tête du quai montant.	1	5 50	5 50	30 25	1	5 50	3 50	19 25	»	» »	» »	» »
Télégraphie de la compagnie. Bureau.	1	4 70	2 25	10 56	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Télégraphie de la compagnie. Pièce de repos.	1	4 »	2 30	9 20	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Lampisterie.	1	4 55	4 70	20 50	1	3 25	4 70	15 27	1	3 60	3 70	13 32
Chauffoirs de la gare.	1	4 30	4 70	20 20	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Chauffoirs de la locomotion.	1	4 30	4 70	20 20	1	2 90	4 70	13 65	»	» »	» »	» »
Magasins pour le charbon.	1	3 02	4 70	20 20	1	5 10	2 35	12 »	1	3 »	3 70	11 10
Magasins pour les ustensiles divers.	1	3 02	4 70	14 20	1	5 10	2 35	12 »	1	2 65	3 70	9 80
Cabinets doubles sur le quai de la station.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Cabinets servant à l'intérieur et à l'extér.	6	» »	» »	» »	3	» »	» »	» »	3	» »	» »	» »
Cabinets sur le quai opposé à la station.	4	» »	» »	» »	2	» »	» »	» »	2	» »	» »	» »
AMÉNAGEMENT DE L'ÉTAT.												
Bureaux du commissaire de surveillance administrative.	1	2 90	4 70	13 65	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Bureaux du télégraphe. Salle d'attente.	1	1 50	2 75	4 12	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Bureaux du télégraphe. Employés.	1	2 75	3 25	9 »	»	»	» »	» »	»	» »	» »	» »
Bureaux du télégraphe. Directeur.	1	4 »	2 30	9 20	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Bureaux de poste.	1	2 35	4 70	11 »	1	2 20	4 70	10 35	»	» »	» »	» »

CHEMIN DE FER DE L'OUEST

SERVICE DES MARCHANDISES

Voies. — Matériel fixe. — Divers.

CLASSIFICATION.	1re CLASSE. De 50 à 100 tonnes par jour.				2e CLASSE. De 10 à 50 tonnes par jour.				3e CLASSE. Au-dessous de 10 tonnes par jour.			
	NOMBRE.	DIMENSIONS.			NOMBRE.	DIMENSIONS.			NOMBRE.	DIMENSIONS.		
		Longr.	Largr.	Surfce.		Longr.	Largr.	Surfce.		Longr.	Largr.	Surfce.
		m.	m.	m.		m.	m.	m.		m.	m.	m.
1°. — *Abords.*												
Chemin	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Cour	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
2°. — *Hangar, Quais.*												
Hangar. Quai couvert	1	40	10	400	1	30	8	240	1	12	5	60
Hangar. Waggons couverts	»	40	4	160	»	30	4	120	»	12	4	48
Hangar. Voitures couvertes (appentis)	»	40	4	160	»	30	4	120	»	12	4	48
Bureau pour les employés de la petite vitesse	1	3	4	12	»	»	»	»	»	»	»	»
Magasins pour les colis bureau restant	1	3	4	12	1	3	4	12	»	»	»	»
Magasins pour les ustensiles de la manutentn.	1	3	4	12	1	3	4	12	»	»	»	»
Quais découvert	1	50	25	1250	1	30	20	600	1	15	10	150
Quais à bestiaux	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
VOIES.												
Voies longueur libre. de la manutention	»	450	»	»	»	300	»	»	»	120	»	»
Voies longueur libre. de manœuvres	»	250	»	»	»	200	»	»	»	»	»	»
Voies longueur libre. de remises à machines de voitures et de quai à chaises de poste	»	200	»	»	»	100	»	»	»	»	»	»
Voies de garage. côté descendant	1	350	»	»	1	350	»	»	1	350	»	»
Voies de garage. côté montant	1	350	»	»	1	350	»	»	1	350	»	»
Aiguilles	17	»	»	»	12	»	»	»	7	»	»	»
Traversées	1	»	»	»	1	»	»	»	1	»	»	»
Plaques à machines	1	»	»	»		»	»	»	»	»	»	»
Plaques à voitures et à waggons	6	»	»	»	3	»	»	»	»	»	»	»
MATÉRIEL FIXE.												
1°. — *Appareils d'enlèvement.*												
Grues de.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Grues de.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Grues de 1 t. 5.	1	»	»	»	1	»	»	»	1	»	»	»
Grues de 6 t.	1	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Grues de 10 t.	»	»	»	»	»	»	»	»	3	»	»	»
Grues de 20 t.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

CHEMIN DE FER DE L'OUEST

SERVICE DES MARCHANDISES

Voies. — Matériel fixe. — Divers.

(SUITE.)

CLASSIFICATION.	1re CLASSE. De 50 à 100 tonnes par jour.				2e CLASSE. De 10 à 50 tonnes par jour.				3e CLASSE. Au-dessous de 10 tonnes par jour.			
	NOMBRE.	DIMENSIONS.			NOMBRE.	DIMENSIONS.			NOMBRE.	DIMENSIONS.		
		Longr.	Largr.	Surfce.		Longr.	Largr.	Surfce.		Longr.	Largr.	Surfce.
		m.	m.	m.		m.	m.	m.		m.	m.	m.
Treuil.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
2°. — *Appareils de pesage.*												
Pont à bascule de 20 t.	2	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »
DIVERS.												
Bureau du service des ingénieurs.	1	5 10	3 50	17 85	1	3 »	3 50	10 50	1	3 »	3 50	10 50
Remises à machines et dépôts.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Remises à voitures.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Magasin pour le coke.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Quai à chevaux et à chaises de poste.	1	40 »	15 à 8	425 »	1	30 »	15 à 8	343 »	»	» »	» »	» »
Ecurie pour le service du camionnage et des correspondances.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Hangar pour le service du camionnage et des correspondances.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Grues d'alimentation et réservoir.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Bâtiment de la machine d'alimentation.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Fosse à piquer le feu.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Appareils de chauffage.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Appareils d'éclairage à l'extérieur.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Appareils d'éclairage à l'intérieur.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Appareils d'éclairage sur les quais, côté de la station.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Appareils d'éclairage sur les quais, côté opposé à la station.	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »	»	» »	» »	» »
Gabarits.	2	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »
Signaux sur la voie descendante.	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »
Signaux sur la voie montante.	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »	1	» »	» »	» »

Les salles d'attente sont plus petites sur les chemins de l'Ouest que sur les chemins de l'Est, mais les vestibules sont plus grands. Cela tient à ce que, sur les chemins de l'Ouest, on transporte un grand nombre de négociants ou marchands qui préfèrent attendre le départ du train dans le vestibule que dans les salles d'attente.

Les dimensions des bureaux du chef de gare sont à peu près les mêmes sur les deux chemins. Si quelquefois elles sont moindres à l'Ouest qu'à l'Est, cela provient de ce qu'à l'Ouest le télégraphe est placé dans un local séparé.

Chemins de l'Est, du Nord et du Midi. — Il ne nous a pas été possible de dresser pour les stations des chemins du Nord et du Midi des tableaux aussi détaillés que pour ceux de l'Ouest; mais nous avons, à l'aide de plans lithographiés qui nous ont été fournis par les ingénieurs de ces Compagnies, reproduit les dimensions principales au moins.

Bâtiment. — Le tableau suivant indique la surface des bâtiments des stations pour les chemins de l'Est, du Midi et du Nord.

STATIONS.	EST. — SURFACE HORS ŒUVRE.	MIDI[2]. — SURFACE HORS ŒUVRE.	NORD[1].	
			AVEC LOGEMENT AU REZ-DE-CHAUSSÉE.	DÉDUCTION FAITE DU LOGEMENT AU REZ-DE-CHAUSSÉE.
	m²	m²	m²	m²
1re classe	405	750	840	744
2e id.	260 à 275	490	475	388
3e id.	200 à 220	180	340	260
4e id.	120 à 155	110	195	161
5e id.	85 à 105	84	102	74
6e id	»	60	»	»

Les stations de 1re classe du Midi, ainsi que celles du Nord, pa-

[1] Les types du chemin du Nord sont ceux des stations à établir sur les nouvelles lignes qui ont été concédées à la Compagnie.

[2] La Compagnie du Midi divise ses stations intermédiaires en quatre classes seulement, eu égard à la grandeur des terrains occupés ou à l'importance du service en général. C'est en tenant compte de la surface du bâtiment des salles d'attente seulement que nous avons été conduit à admettre cinq classes.

raissent assimilables aux stations que nous avons placées hors classe, telles que nos stations de Metz et de Nancy; celles de 2e classe, à nos stations de 1re classe. Celles du Midi sont toutefois plus grandes.

Celles du Nord le seraient également si on n'en déduisait pas une partie du logement du chef de gare, placée au rez-de-chaussée, tandis qu'aux chemins de l'Est et du Midi ce logement se trouve tout entier au premier étage. Il est assez difficile d'établir un rapprochement entre les dimensions des stations des autres classes du chemin du Midi et celles des stations de l'Est. La Compagnie du Midi sera probablement obligée d'établir des stations de grandeur intermédiaire. Les dimensions des stations du Nord ont beaucoup plus d'analogie avec celles de nos stations. Ainsi les dimensions des stations de 3e et de 4e classe, toujours en déduisant le logement du chef de gare, équivalent à celles de nos stations de 2e et de 3e classe. La 5e classe est un peu plus petite que les plus petites stations du chemin de l'Est.

Vestibule. — On trouve, pour les surfaces des vestibules :

STATIONS.	EST.	MIDI.	NORD.
	m²	m²	m²
1re classe	50	35	25
2e *id.*	35	22	25
3e *id.*	30	21	25
4e *id.*	28	15	22
5e *id.*	24,50	10	12
6e *id.*	»	»	»

Les vestibules des chemins de l'Est sont généralement plus grands que ceux des chemins du Midi. Nous les croyons de grandeurs convenables. Ceux du Midi et du Nord nous paraissent trop petits.

Salles d'attente. — Les surfaces des salles d'attente sont les suivantes :

STATIONS.	EST.	MIDI.	NORD.
	m²	m²	m²
1re classe	100	105	150
2e id.	80	88	120
3e id.	60	60	89
4e id.	60	60	61
5e id.	40	29	32
6e id.	25	»	»

Rapprochant les stations de 1re, 2e, 3e et 4e classe de l'Est des stations de 2e, 3e, 4e et 5e du Nord, on ne remarque pas de différence trop sensible dans l'étendue des salles d'attente. Celles du Nord sont généralement un peu plus grandes. Les salles du Midi sont un peu plus grandes dans les stations de 1re et 2e classe. Elles sont de même grandeur dans les stations de 3e et 4e classe, et plus petites dans celles de 5e. Au chemin du Midi, les salles de bagages des stations de 1re, 2e et 3e classe sont plus grandes que celles du même ordre des chemins de l'Est; mais la différence n'est pas d'une grande importance, si l'on compare les stations de 1re, 2e et 3e classe de l'Est aux stations de 2e, 3e et 4e classe du Midi.

Bagages. — On trouve, pour les surfaces des salles de bagages :

STATIONS.	EST.	MIDI.	NORD.
	m² m²	m²	m²
1re classe	65 à 75	135	160
2e id.	45 à 50	77	95
3e id.	25 à 35	66	60
4e id.	20 à 25	30	45
5e id.	16 à 25	15	30
6e id.	15	»	»

Billets. — Les bureaux pour la distribution des billets présentent les dimensions suivantes :

STATIONS	EST.	MIDI.	NORD.
	m² m²	m²	m²
1re classe	8 à 14	»	12
2e id.	9,50 à 10	»	8
3e id.	»	»	»
4e id.	5 à 5,50	»	»
5e id.	4 à 5,50	»	»
6e id.	»	»	»

Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, la distribution des billets, au chemin de l'Est, ne se fait dans un local séparé pour les stations de 3e et 4e classe que par exception.

Au chemin du Nord, dans les stations de 3e, 4e et 5e classe, la salle de bagages comprend toujours le bureau de distribution des billets.

Au chemin du Midi, les bureaux pour la distribution des billets aux voyageurs et pour l'enregistrement des bagages sont confondus. Il n'y a donc lieu de comparer que les bureaux pour les stations de 1re et de 2e classe de l'Est et du Nord. Ceux du Nord sont un peu plus petits que ceux de l'Est. Nous ne pensons cependant pas qu'il y ait lieu de réduire les dimensions des bureaux de l'Est. Ceux des stations de 4e et 5e classe de l'Est ont été reconnus trop petits.

Chef de gare. — Pour l'étendue des bureaux des chefs de station, on trouve :

STATIONS.	EST.	MIDI.	NORD.
	m² m²	m²	m²
1re classe	14 à 16	12	10
2e id.	14 à 16	10	10
3e id.	10 à 12	10	9
4e id.	7 à 12	6	7
5e id.	11 à 15	5	»
6e id.	11	»	»

Les bureaux du Nord sont un peu plus petits que ceux de l'Est;

mais l'appareil télégraphique se trouve généralement, sur le premier chemin, dans un local séparé, tandis que, sur le chemin de l'Est, il est souvent placé dans le bureau du chef de station.

Les bureaux des stations de 5e et 6e classe, sur le chemin de l'Est, sont plus grands, parce qu'ils servent en même temps pour le dépôt des bagages et pour la distribution des billets.

ATELIERS.

On distingue les ateliers de grande réparation de ceux de petite réparation.

Il n'existe jamais, même sur les lignes les plus importantes, qu'un seul atelier de grande réparation. Cet atelier est une véritable fabrique pour construire des machines aussi bien que pour les réparer; car réparer une machine locomotive usée par un long travail, c'est souvent la reconstruire.

Quant aux ateliers de petite réparation, auxquels on donne le nom de dépôts, on ne fait ordinairement qu'y remplacer les pièces usées ou avariées.

Sur les lignes de faible parcours, situées à portée des villes ou des fabriques, on évite de construire des ateliers de grande réparation, et l'on tire des établissements voisins les pièces à remplacer, telles qu'essieux, pièces de fonderie, etc.; mais il est toujours fort incommode de se trouver dans la dépendance de ces établissements.

C'est ainsi qu'au chemin de Liverpool à Manchester, dont les principaux ateliers de réparation étaient, lors de sa création, fort exigus et très-imparfaitement outillés, les administrateurs, ne tardant pas à sentir la nécessité de se rendre indépendants, furent conduits graduellement à augmenter l'étendue de leurs ateliers, ainsi que l'importance de leur outillage.

Aujourd'hui, sur toutes les grandes lignes, on a suivi cet exemple donné par le chemin de Liverpool à Manchester.

Sur les différents chemins que nous avons cités, les ateliers de grandes réparations sont diversement placés.

Au chemin de Londres à Birmingham, on les a établis près de la station de Wolwerton, à moitié chemin de Londres à Birmin-

gham; sur le chemin de Bristol à Swindon, aux deux tiers de la distance de Londres à Bristol; au chemin de Grand-Junction, à Crewe, à moitié chemin environ de Birmingham à Liverpool.

En France, au chemin d'Orléans, les grands ateliers se trouvent à 1 kilomètre de la gare des voyageurs de Paris. Au chemin de Rouen, ils sont à Sotteville, éloigné de 2 kilomètres de Rouen. On compte 2 kilomètres des ateliers des chemins de Saint-Germain et Versailles (rive droite) à la gare de Paris. Au chemin de Bâle à Strasbourg, les ateliers, situés près de la gare de Mulhouse, sont à 110 kilomètres de Strasbourg et à 30 kilomètres de Bâle. Sur le chemin de Montpellier à Nîmes, on les a construits dans la gare même de Montpellier.

Au chemin de Strasbourg, ils sont placés à Épernay, à 141 kilomètres de Paris et 360 de Strasbourg. On les avait d'abord projetés à Paris, et, sans le désir d'utiliser les dépenses considérables faites déjà pour un établissement provisoire à Épernay, on les eût très-probablement établis à Bar-le-Duc, au centre de la ligne.

En Belgique, les ateliers centraux de Malines sont à 25 kilomètres de Bruxelles, 55 kilomètres de Gand, 25 kilomètres d'Anvers et 85 kilomètres de Liége.

En Allemagne, sur le grand chemin septentrional de Vienne à Raab, les ateliers de grande réparation font partie des bâtiments de la gare de Vienne.

On voit que les ingénieurs des grandes lignes ne semblent pas s'être attachés essentiellement à placer les ateliers en un point déterminé de la ligne, tel que le serait le milieu ou l'une des extrémités. Ils les ont établis tantôt sur un point, tantôt sur un autre : partout où l'on a pu acquérir à un prix raisonnable de vastes terrains voisins de la ligne.

Lorsque les ateliers principaux sont placés dans les gares de départ ou d'arrivée, ils se trouvent sous la surveillance immédiate de l'ingénieur en chef et des administrateurs, qui habitent ordinairement les villes à l'extrémité de la ligne; mais, d'un autre côté, ils occupent dans ces gares un terrain ordinairement très-précieux, et, si la gare est dans l'intérieur d'une ville, les ouvriers ne peuvent se loger et se nourrir à proximité qu'à grands frais.

En outre, ils deviennent des foyers d'insurrection fort dangereux dans les moments d'agitation politique.

Lorsque, au contraire, les grands ateliers sont éloignés des villes, on les place facilement à la proximité des grands centres de production, dont ils peuvent tirer les matières premières à bon marché, les ouvriers sont logés et nourris à moins de frais et ne sont pas exposés à l'influence démoralisatrice des grandes villes. Ils sont aussi plus facilement surveillés et plus facilement contenus.

Les ateliers auxiliaires ou dépôts sont distribués sur la ligne à des distances variables.

Au chemin d'Orléans, on en a établi à Orléans; à Étampes, à 65 kilomètres d'Orléans; à Corbeil, à 31 kilomètres de Paris; à Toury, à 33 kilomètres d'Étampes, et à Saint-Michel, à 29 kilomètres de Paris.

Au chemin de Rouen, dont l'exploitation est à l'entreprise, on trouve des ateliers pour les petites réparations près de Batignolles.

Au chemin de Strasbourg, on rencontre des dépôts à Paris, à Meaux (45 kilomètres de Paris), à Château-Thierry (50 kilomètres de Meaux), à Épernay (47 kilomètres de Château-Thierry), à Blesme (75 kilomètres d'Épernay), à Bar-le-Duc (37 kilomètres de Blesme), à Lérouville (33 kilomètres de Bar-le-Duc), à Nancy (63 kilomètres de Lérouville), à Sarrebourg (79 kilomètres de Nancy), à Saverne (27 kilomètres de Sarrebourg), à Metz (56 kilomètres de Nancy) et à Forbach (72 kilomètres de Metz).

Sur le chemin de Lyon, les dépôts sont placés à Paris, à Montereau, à Laroche, à Tonnerre, à Monbar, à Dijon, à Châlons, à Mâcon et à Lyon (Vaise), à des distances de 79, 76, 42, 46, 72, 58 et 66 kilomètres.

Dans l'origine, les dépôts étaient très-rapprochés. Ainsi, sur le chemin d'Orléans, ils se trouvaient généralement écartés de 25 kilomètres seulement, et, sur celui de Lyon, on s'était attaché à ne pas les placer à des distances de plus de 40 kilomètres. Le matériel se perfectionnant et les machinistes acquérant plus d'habileté, on a pu augmenter le parcours des machines et éloigner davantage les dépôts. On en porte aujourd'hui la distance sans inconvénient jus-

qu'à 80 kilomètres environ. S'il s'en trouve de plus rapprochés, cela tient à des circonstances particulières.

Ainsi, sur le chemin de Strasbourg, l'établissement de dépôt de Meaux a été nécessité par les trains de banlieue; celui de Blesme, par l'embranchement de Gray; celui de Lérouville, par le voisinage des rampes; celui de Nancy, par l'embranchement de Metz; et enfin celui de Saverne, par le voisinage des souterrains et par le service de banlieue de Strasbourg.

Sur le chemin de Lyon, on a placé un dépôt à Laroche à cause de l'embranchement d'Auxerre, et un à Monbar à cause du voisinage des rampes.

Sur celui de Strasbourg à Bâle, il n'y a de dépôt qu'à Colmar, à 68 kilomètres de Strasbourg et à 73 kilomètres de Bâle, et à Strasbourg.

Sur les grandes lignes, on trouve toujours, outre les ateliers principaux, des ateliers auxiliaires situés souvent dans les gares d'arrivée et de départ, ou à leur proximité.

Ainsi il en existe, sur le Great-Western railway, dans l'intérieur de la gare de Londres et à une petite distance de celle de Bristol; sur le chemin de Londres à Birmingham, dans la gare de Birmingham et à proximité de la gare de Londres (Cambden Town).

Au chemin de Strasbourg, il existe, outre les grands ateliers de réparations pour les machines à Épernay, des ateliers d'une importance secondaire à Montigny-lez-Metz, et un atelier pour la réparation et la peinture des voitures à la Villette, près Paris.

Au chemin de Lyon, les grands ateliers sont à Paris, et il existe une succursale importante à Dijon, où s'embranche le chemin de Besançon.

C'est ordinairement dans les ateliers ou dans les remises qui en dépendent que les machines vont s'abriter la nuit. Lors donc que ces ateliers ne sont pas placés dans la gare même, les machines ont à parcourir tous les jours une certaine distance. Il faut, autant que possible, éviter ces manœuvres, qui, en se multipliant, finissent par devenir assez dispendieuses. D'ailleurs, les réparations à faire aux machines, tenders ou waggons, sont bien plus faciles lorsque les ateliers sont près des stations, et il importe surtout, pour le ser-

vice, que les communications entre les gares et les ateliers ou remisages et réserves de matériel soient promptes et faciles.

Nous avons déjà parlé de l'espace occupé par les ateliers principaux des différents chemins de fer. Ces ateliers doivent toujours renfermer :

Un atelier de montage de machines avec bancs d'ajusteur;

Un atelier de machines-outils;

Un atelier de forges;

Un atelier spécial pour la réparation des roues;

Un atelier de chaudronnerie;

Un atelier de réparations de voitures;

Un atelier de peinture et une sellerie, avec dépendances pour menuisiers, tourneurs en bois, charrons, etc., et des hangars avec une cour pour les charpentiers;

Des magasins avec logement pour le garde-magasin;

Un bâtiment pour loger le directeur des ateliers et placer le bureau de l'administration des ateliers, des dessinateurs, etc.;

Des réservoirs, des grues hydrauliques, etc.;

Quelquefois, mais très-rarement, ils renferment une fonderie de fonte; plus souvent une fonderie de cuivre.

Au chemin de Grand-Junction, les ateliers se subdivisaient, il y a quelques années, lorsque nous les avons visités, en trois grandes sections :

1° La section pour la réparation des machines;

2° La section pour la réparation des voitures de voyageurs;

3° La section pour la réparation des waggons de marchandises.

Les bâtiments qui composent les ateliers sont ordinairement placés autour d'une ou plusieurs cours quadrilatérales (Orléans, Wolverton, Crewe, Malines, Vienne).

Cette disposition est très-convenable en ce qu'elle permet :

1° De bien éclairer les ateliers;

2° De ne laisser entrer et sortir les ouvriers que par une seule porte;

3° D'établir une communication facile entre les différents bâtiments;

4° De laisser libre un espace convenable pour les chantiers en

plein air au centre même des ateliers, à portée de chacun d'eux;

5° De faciliter la surveillance; toutes conditions qu'il est très-important de remplir simultanément.

Une disposition vicieuse des ateliers, aussi bien qu'une disposition mal étudiée des gares, entraîne dans des frais d'exploitation plus élevés qu'on ne l'avait prévu.

Les forges, les ateliers de montage et la chaudronnerie sont généralement établis sous de simples hangars (Orléans, Wolverton, Crewe, Malines).

Le bâtiment des machines-outils souvent aussi consiste en un simple hangar (Orléans, Wolverton, Crewe).

Quelquefois cependant il est à deux étages. Les grosses machines sont alors placées au rez-de-chaussée et les machines les plus légères au premier étage (Derby, etc.). Les bâtiments pour la réparation des voitures sont très-souvent à deux étages (Malines, Derby, etc.).

Les travaux de peinture et de sellerie se font au premier, les travaux de charpente au rez-de-chaussée.

Les ateliers à deux étages coûtent naturellement moins cher d'établissement que ceux à un étage; mais le service y est plus difficile et les manœuvres beaucoup plus coûteuses.

Les ateliers sont ordinairement éclairés sur le côté par de très-grandes fenêtres; il importe qu'ils reçoivent beaucoup de jour, ceux de montage et de machines-outils surtout.

Les pièces pour les réparations de machines sont d'abord forgées, puis achevées dans l'atelier des machines-outils, et enfin employées dans l'atelier de montage. Il convient donc que les bâtiments des forges, des machines-outils et de montage soient placés à la suite les uns des autres, comme ils le sont au chemin d'Orléans.

On place des bancs d'ajusteur dans les ateliers des machines-outils et dans ceux de montage, mais il faut éviter d'y placer des forges. La poussière du charbon, en pénétrant dans les machines-outils et dans les machines locomotives, leur deviendrait très-nuisible.

Les charpentiers travaillant en même temps aux machines, aux tenders et aux voitures, les hangars qui leur servent d'abri ne

doivent pas être très-éloignés ni des ateliers affectés plus spécialement à la réparation des machines, ni de ceux où l'on répare les voitures.

La chaudronnerie, où l'on fabrique et répare les chaudières de locomotives et les tenders, doit être, autant que possible, placée entre le bâtiment des forges et le hangar des charpentiers, ou du moins à proximité de l'un et de l'autre, la fonderie de laiton à côté de la chaudronnerie.

Les ateliers doivent être assez vastes pour que les appareils s'y logent facilement et que les ouvriers y circulent et travaillent aisément.

Nous citerons comme exemples d'ateliers bien disposés ceux de Lyon, d'Orléans, du Nord et de Strasbourg.

La charpente des ateliers d'ajustage doit être assez solide pour qu'on puisse y prendre des points d'appui pour les arbres et roues servant à mettre en mouvement les différentes machines.

Pour les autres ateliers, les charpentes peuvent être moins massives; néanmoins il convient de les combiner de telle façon qu'on puisse y prendre des points d'appui pour les grues de 3 à 4,000 kilogrammes.

Les ateliers de montage sont généralement munis de grandes grues roulantes qui permettent de suspendre les chaudières des machines et de les séparer de leur train, ou même de soulever des machines tout entières. Cette disposition est infiniment moins coûteuse que celle qui consisterait à avoir à portée de chaque machine un appareil à demeure qui permettrait de l'enlever. Mais le matériel des chemins de fer exige en outre, pour la construction et l'entretien, un outillage tout spécial et d'une grande importance, surtout en ce qui concerne les roues et les ressorts, car la réparation des roues donne lieu à l'une des dépenses les plus considérables des ateliers.

Les machines qui composent l'outillage pour la construction et pour la réparation des machines locomotives diffèrent peu de celles qu'on emploie dans les fabriques de machines fixes.

Il convient de disposer des voies de fer dans toutes les parties de l'atelier où l'on doit amener les pièces à réparer, et surtout dans

celles où doivent entrer les machines, comme la chaudronnerie; il en est de même pour la menuiserie, les tours, machines à percer, appareils de calage, etc.

La superficie de la partie couverte des ateliers du chemin de Strasbourg (fig. 339) se subdivise de la manière suivante :

La surface des terrains est de 9 hectares.

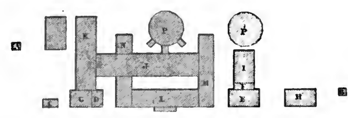


Fig. 339. — Disposition et ateliers d'Épernay.

LÉGENDE :

A	Concierge	9 × 9	= 81	412
B	Préposé au coke	9 × 9	= 81	
C	Logements	20 × 12,05	= 250	
D	Bureaux	12 × 24	= 288	1,456
E	Magasins	40 × 24	= 960	
F	Magasin à fer	8 × 26	= 208	
G	Menuiserie	28 × 24	= 672	2,854
H	Magasin à bois	40 × 24	= 960	
	Bâtiment disponible	47 × 26	= 1,222	
J	Montage — Machines	136 × 30	= 4,080	6,680
K	Montage — Tenders	100 × 26	= 2,600	
L	Ajustage	90 × 24	= 2,160	5,732
M	Forge	100 × 20	= 2,000	
N	Chaudronnerie	70 × 20	= 1,400	
O	Machine à vapeur	25 × 4	= 100	
	Passage	12 × 6	= 72	
PP	Remises de locomotives			
				17,134

Ces ateliers suffisent pour la réparation d'un matériel de 250 à 300 locomotives.

MAISONS DE GARDES

Après avoir parlé des bâtiments établis dans les stations pour le service des voyageurs et des marchandises ou pour les ateliers, il ne sera sans doute pas hors de propos de dire quelques mots de ceux qui contiennent le logement des gardiens des passages à niveau et qui sont placés près de ces passages.

Les maisons de gardes établies dans l'origine sur les chemins de fer en exploitation ont été exécutées sur des dimensions et dans

des conditions qui ont nécessité des dépenses assez considérables. Sur les chemins de fer du Nord, de Lyon et de Strasbourg, les maisons de gardes construites par l'État sont composées d'un rez-de-chaussée, d'un premier étage et d'une cave assez vaste; elles sont revenues à 4,000 francs en moyenne. Il en est de même des maisons d'éclusiers construites sur les divers canaux exécutés par le gouvernement.

Les Compagnies ayant reconnu qu'il y avait plus de sûreté et en définitive plus d'économie à établir des maisons de gardes à tous les passages à niveau pour que le service puisse en être fait par les femmes des poseurs employés à l'entretien, et le nombre des maisons de gardes étant appelé à devenir plus considérable que dans l'origine, on a recherché si l'on ne pourrait pas établir des bâtiments d'une importance moindre et en conséquence d'une dépense beaucoup plus restreinte.

Aux chemins de fer du Nord et d'Amiens à Boulogne, il a été construit des maisons à simple rez-de-chaussée et grenier, avec four et cellier, dont la dépense ne s'est pas élevée à plus de 2,200 francs; mais on a reconnu qu'elles étaient trop exiguës, et pour les lignes nouvelles on a admis un type dont le prix de revient est plus élevé.

Le type des maisons de gardes, sur le chemin du Midi, n'admet qu'un rez-de-chaussée composé de trois pièces. Le devis semonte à 2,700 francs.

Plusieurs projets ont été faits pour les nouvelles lignes concédées à la Compagnie de l'Est.

D'après le premier de ces projets (fig. 340), il n'y aurait que trois pièces au rez-de-chaussée avec un four et un petit cellier à l'extérieur du corps principal, et sur le corps principal un grenier dans lequel on monterait avec une échelle de meunier. La surface totale du rez-de-chaussée serait de 54^{m},46. Le bâtiment aurait à peu près à l'extérieur l'apparence des maisons de gardes du chemin de Strasbourg.

D'après le second projet (fig. 341), il y aurait deux corps de bâtiment reliés ensemble : le premier en avant n'aurait qu'un rez-de-chaussée, et le second serait surélevé d'un étage. Il y aurait au rez-

de-chaussée du bâtiment de derrière un four avec un cellier et une autre pièce pour magasin. Au premier étage de ce dernier bâti-

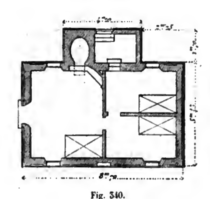


Fig. 340.

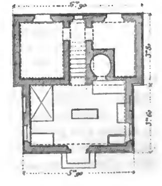


Fig. 341.

ment se trouveraient deux pièces pouvant servir de chambres à coucher.

La dépense d'établissement s'élèverait dans ce cas à environ 3,000 ou 3,300 francs.

La Compagnie de l'Est a adopté ce dernier projet pour les maisons de gardes des passages à niveau établies en rase campagne, sur les lignes qui lui ont été nouvellement concédées.

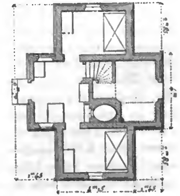


Fig. 342.

Le chiffre de 3,000 ou 3,300 francs est celui de la dépense maxima dans les cas ordinaires. Elle pourrait être augmentée dans le cas de fondations exceptionnelles.

Quant aux maisons de gardes à établir pour le service des passages à niveau dans les villes ou les chefs-lieux de canton, elles auront la même forme à peu près et le même aspect que celle figure 342. Les dimensions en seront seulement un peu plus gran-

des, et il y aura une pièce de plus au rez-de-chaussée. La dépense pour ce dernier type s'élèvera à 3,500 ou 4,000 francs.

DÉCORATION ARCHITECTONIQUE DES GARES.

L'architecture d'un monument doit révéler sa destination. Les péristyles annoncent les théâtres, les temples anciens et les églises modernes. Les clochers, les tours élevées, les portes en ogive, caractérisent les églises du moyen âge. Les gares de chemin de fer, celles des extrémités surtout, ont aussi leur architecture spéciale. Dans les gares terminales, comme dans tous les édifices qui servent de réunion à un public nombreux, il existe souvent des péristyles au fond desquels se dessinent des portes ou des fenêtres en plein cintre de grandes dimensions, destinées à éclairer d'immenses vestibules ou à donner issue au flot des voyageurs qu'amène chaque convoi. Mais ce qui caractérise surtout la façade principale, c'est une horloge *monumentale*, et, quand cette façade ferme la gare, un grand arc ou un immense fronton qui accuse la forme du comble recouvrant la halle des voyageurs.

La gare terminale des chemins de l'Est (fig. 343) (à Paris) offre l'exemple le plus saillant de cette architecture des chemins de fer. Il était à regretter que les voitures ne pussent pas arriver sous la colonnade pour y débarquer et embarquer les voyageurs à l'abri; mais l'ouverture du boulevard de Sébastopol ayant nécessité l'établissement d'un perron, cette faculté leur eût été dans tous les cas interdite. Les chapiteaux des colonnes sont ornés de sculptures représentant les différents produits agricoles cultivés sur le parcours de la ligne. Cette décoration originale n'est pas d'un mauvais effet. Au-dessus des colonnes, entre les retombées, l'architecte a placé les armes des différentes villes desservies par le chemin. L'horloge est d'une grande élégance; elle sert d'appui à deux gracieuses statues à demi couchées, la Seine et le Rhin, dont les artistes s'accordent à faire l'éloge. Au sommet du fronton est assise la ville de Strasbourg dans une chaise curule. La rosace en fer et en verre qui ferme le grand arc en pierre terminant la halle est d'un dessin remarquable, et, placée à quelques mètres en arrière de la colonnade qu'elle surmonte, elle produit l'effet le plus heu-

Pl 12



Gare des Chemins de fer de l'Est à Paris

Fig. 343

Pag 184



Paris Imp. Geny Gros r. St Jacques 33.

Gare des Chemins de fer du Nord à Bruxelles

reux. A droite et à gauche enfin s'élèvent deux pavillons en saillie dont la façade est dans le même plan que celle du péristyle. L'architecte, M. Duquesney, auteur de ce beau travail, a trop peu vécu pour le voir achevé.

La même pensée a présidé à l'étude de la façade de la gare terminale du chemin de fer de l'Est, à Strasbourg; mais le bâtiment a été construit sur de moins grandes dimensions et le grand arc a été remplacé par un double fronton.

A côté de la gare terminale du chemin de Strasbourg à Paris il faut citer celle du chemin du Nord à Bruxelles. La façade (fig. 344) du bâtiment placé en tête est d'une architecture grande et riche. L'admission des voyageurs a lieu par le côté. Les façades latérales sont en harmonie avec celle de l'extrémité, mais elles sont un peu moins riches.

Pour des gares moins importantes que celles du chemin de l'Est, il aurait été hors de propos d'adopter une décoration architectonique aussi riche, aussi grandiose. La façade de ces gares doit être en rapport avec le mouvement de la ligne desservie. Comme modèles de façades moins saillantes que celle de la gare de Strasbourg et cependant bien appropriées au chemin auquel elles servent de tête, nous citerons la façade du bâtiment de Saint-Germain à Paris et celles des deux chemins de Versailles, à Versailles[1].

Au chemin de Saint-Germain on arrive immédiatement, par un magnifique perron et par plusieurs portes cintrées, à un beau vestibule, et des deux côtés de la cour règnent des galeries sous lesquelles on peut, dans les temps de pluie, descendre à couvert pour monter ensuite au vestibule par des escaliers latéraux également couverts.

La gare extrême du chemin de Versailles, rive gauche, à Versailles, est entièrement ouverte, comme le représente la fig. 345. Le public placé à l'extérieur peut donc jouir de l'intéressant spectacle que lui offre le mouvement des convois et des locomotives à l'intérieur. Le fronton et l'entablement sont en plâtre; mais ils avaient été projetés en fonte, ce qui eût été beaucoup plus conve-

[1] C'est M. Armand, architecte, qui a fait le projet de la gare de Saint-Germain et de celle de Versailles, rive droite.



nable. La raison d'économie, puissante pour une Compagnie dont le capital est épuisé, a seul fait donner la préférence au plâtre.

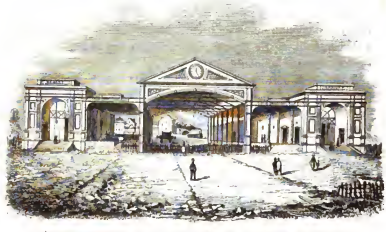


Fig. 345. — Façade extrême du chemin de Versailles (rive gauche), à Versailles.

La façade extrême de la gare de Metz (sud) a une grande analogie avec celle que nous venons de décrire; seulement elle est fermée dans toute sa hauteur par un vitrage et toute la décoration consiste en bois découpé.

La façade de la gare extrême du chemin de Versailles, rive droite, à Versailles (fig. 346), est simple, mais d'un goût très-pur.

La fig. 347 représente une espèce d'arc de triomphe qui sert de point de départ au chemin de Londres à Birmingham, l'un des premiers construits en Angleterre et que l'on pourrait appeler le grand chemin du Nord anglais. Nous ne saurions approuver ce monument, dont l'architecture n'est nullement en rapport avec la destination de la grande voie ferrée dont il forme la tête.

L'architecture des stations intermédiaires placées dans de grandes villes doit être en rapport avec celle des édifices principaux de la ville. Ainsi à Nancy, ville toute monumentale, l'architecture de la station rappelle celle des belles créations de Stanislas.

Les petites stations isolées dans les campagnes doivent être con-

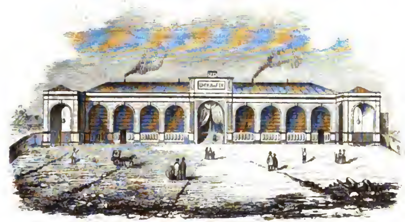


Fig. 346. — Façade extrême du chemin de Versailles (rive droite), à Versailles.



Fig. 347. — Gare du chemin de Londres à Birmingham.



Fig. 348. — Station de la Porte Maillot. Chemin d'Auteuil.

struites avec une grande simplicité. Celles du chemin de fer d'Auteuil (fig. 348) n'ont qu'un simple rez-de-chaussée éclairé par de



Fig. 349. — Station badoise.

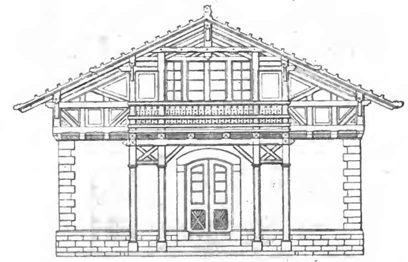


Fig. 350. — Autre station sur les chemins badois.



Fig. 351. — Gare de Fribourg, en Brisgau.

hautes et larges fenêtres cintrées. Celles du chemin badois (fig. 349 et 350), dans la belle vallée du Rhin, ne sont autre chose que d'élégantes maisons de paysans, de gracieux chalets.

Les stations principales du même chemin méritent également d'être reproduites. La figure 351 représente l'élévation de celle de Fribourg en Brisgau. On remarquera le campanile qui surmonte le bâtiment et qui contient l'horloge. Des campaniles semblables se retrouvent dans presque toutes les stations de quelque importance de ce chemin.

CHAPITRE X

DES WAGGONS OU VOITURES EMPLOYÉES SUR LES CHEMINS DE FER

Généralités. — Le choix et la bonne exécution du matériel définitif d'un chemin de fer sont de la plus grande importance. Avec un matériel défectueux, la dépense n'augmente pas seulement du surcroît des frais d'entretien, mais aussi de celui des frais de traction qu'il nécessite.

On doit donc apporter toute l'attention possible à l'étude du matériel roulant, et en faire la commande de telle sorte, que le fabricant puisse approvisionner ses matériaux, sécher ses bois et travailler avec soin; sans cela, on perd le droit d'être exigeant lors de la réception.

On confie généralement la construction de ce matériel à un ou plusieurs fabricants; quelquefois cependant les grandes compagnies l'exécutent dans leurs propres ateliers.

Lorsque, pour la première fois, on fit rouler un waggon sur un chemin de fer, on s'aperçut bientôt qu'il ne suffisait pas, pour qu'il se maintînt sur les rails, que les roues fussent munies de rebords. Les voitures à deux roues, de quelque manière qu'on les construisît, toutes les fois qu'une des roues venait à rencontrer un obstacle, tournaient et sortaient infailliblement de la voie. Il en était de même de celles à quatre roues, quand les roues étaient mobiles sur l'essieu ou que l'essieu de devant pouvait changer de direction indépendamment du corps de la voiture, comme dans les voitures qui marchent sur les routes ordinaires. Les roues étant mobiles et

les essieux parallèles, la roue jumelle, c'est-à-dire la roue portée sur le même essieu que celle arrêtée par l'obstacle, continuait à tourner et entraînait le mouvement de rotation, ainsi que le déraillement de la voiture. Les essieux changeant de direction indépendamment l'un de l'autre, un effet analogue se produisait : l'essieu portant la roue devenue stationnaire occasionnait alors le déraillement, en prenant une direction inclinée sur celle de l'autre essieu.

A l'entrée des courbes, le rebord de la roue d'avant placée du côté de la convexité de la courbe rencontrait nécessairement le rail; l'essieu changeait de direction en s'éloignant de celle du rayon de la courbe, et le waggon était encore jeté hors des rails.

C'est ainsi que l'on fut conduit par l'expérience :

1° *A n'employer sur les chemins de fer que des voitures à quatre roues au moins;*

2° *A rendre les roues jumelles solidaires en les fixant sur les essieux, lesquels tournaient alors dans des boîtes fixées au corps de la voiture ou aux ressorts qui la portent;*

3° *A disposer les essieux de manière qu'ils restent invariablement parallèles ou à peu près dans les waggons à quatre roues. De cette façon, l'essieu d'avant ne peut changer de direction sans que le corps de la voiture en change également.*

Les waggons des chemins de fer diffèrent donc essentiellement des voitures employées sur les routes ordinaires.

Les waggons à quatre roues sont le plus généralement en usage, du moins en Europe; cependant on en fait aussi à six et à huit roues.

Dans les waggons à six roues, les essieux sont ordinairement parallèles. Sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, toutefois, on s'est servi pendant longtemps de voitures à six roues dont un des essieux pouvait tourner dans un plan parallèle à celui du chemin, indépendamment des deux autres.

Dans ceux à huit roues, les essieux ne sont parallèles que deux à deux. La caisse, comme on peut le reconnaître fig. 352, est portée sur deux trains distincts, à quatre roues chacun, qui peuvent tourner indépendamment l'un de l'autre, chacun autour d'une cheville ouvrière perpendiculaire au plan du chemin.

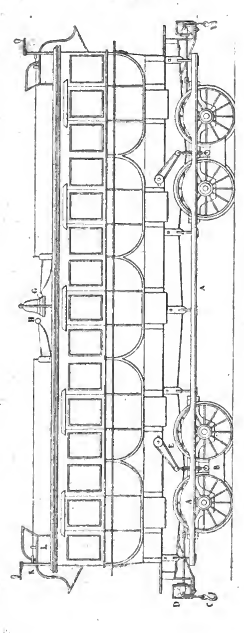


Fig. 352. — Waggon à huit roues.

On distingue dans un waggon deux parties principales, savoir : le *train* et la *caisse*.

La caisse, dont les formes et dimensions sont très-variables,

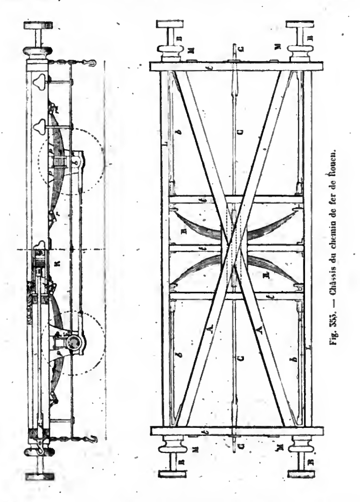


Fig. 353. — Châssis du chemin de fer de Rouen.

suivant le genre de transport auquel elle est destinée, est portée sur le train (fig. 353). Celui-ci se compose généralement d'un *cadre* ou *châssis* en charpente dont la forme est à peu près la même pour toutes les sortes de waggons employés dans un chemin de fer. Ce

cadre repose sur les extrémités des *ressorts de suspension rr*, auxquels sont liés en leur milieu, par des boulons à brides, les boîtes à graisse *b*. La boîte à graisse est maintenue entre les deux saillies d'une plaque en fer battu ou en tôle épaisse solidement fixée au châssis, dite *plaque de garde*, *pp*; elle peut ainsi glisser de haut en bas ou de bas en haut dans cette plaque, en faisant jouer le ressort; mais elle est entraînée dans le mouvement de translation de la voiture.

Les boîtes à graisse reposent sur les *fusées des essieux* E, et forcent à leur tour ceux-ci à suivre le mouvement du véhicule; on voit par là que tout le poids de la voiture repose sur les extrémités des essieux par l'intermédiaire des ressorts et des boîtes à graisse. Il existe cependant des waggons non suspendus dans lesquels les boîtes à graisse sont directement fixées au châssis. Dans ce cas, les ressorts et les plaques de garde sont supprimés.

Enfin les châssis portent des appareils destinés à relier entre eux et avec le moteur les waggons qui composent le train. Ces appareils sont munis en général de *ressorts* dont le but est d'amortir les chocs qui se produisent entre les différentes voitures d'un convoi.

Châssis. — Dans les châssis actuellement employés sur presque tous les chemins de fer, les principales différences proviennent de la disposition des appareils d'attelage dits de *choc et traction*. Nous allons donc nous occuper simultanément des châssis et des appareils d'attelage.

La figure 333 représente en plan et en coupe le châssis des voitures du chemin de fer de Paris à Rouen, qui a servi de type à tous ceux des lignes construites en France depuis quelques années.

Il se compose de deux *longerons* ou *brancards* LL en bois (fig. 333), assemblés à tenons dans deux *traverses extrêmes tt* et réunis en outre par trois *traverses intermédiaires t't't'* également assemblées à tenons dans les brancards.

Une *croix de Saint-André*, composée de deux pièces de bois AA qui se croisent au moyen d'une entaille à mi-bois, donne au châssis l'invariabilité de forme dont il a besoin pour résister aux efforts auxquels il est soumis pendant la marche du convoi.

Tous les assemblages de ces pièces entre elles sont consolidés au moyen de *harpons en fer* et de *boulons*.

Deux *grands ressorts de choc et de traction* RR (fig. 353) sont attachés en leur milieu aux *tiges de traction* CC, munies de crochets à leurs extrémités, qui dépassent les traverses extrêmes.

Ces ressorts appuient par leurs deux bouts sur de petites *mannettes* en fonte qui terminent les *tiges de tampon* B *b*. Ces tiges sont munies à leur autre extrémité de tampons B en bois dur; les ressorts sont guidés en leur milieu par deux *cadres dd*, en fer plat, fixés au moyen de sabots en fonte sur les traverses intermédiaires de part et d'autre des ressorts.

Voici comment fonctionne cet appareil :

Quand on exerce un effort sur la tige de traction, le ressort correspondant perd de sa flèche, et appuie alors fortement par ses extrémités sur la traverse du châssis, qu'il entraîne progressivement et sans secousse.

Si l'on suppose un second châssis attelé au premier par les crochets de traction, dès que le premier se sera mis en mouvement, il tendra à entraîner le second; mais cet effet n'aura lieu que lorsque le ressort d'arrière du premier et celui d'avant du second waggon se seront assez aplatis pour acquérir une tension équivalente à la résistance qu'oppose un waggon. On voit donc que le démarrage de tout un train se fera successivement, et donnera lieu à peu ou point de secousses.

Si la liaison des waggons qui composent un train ne se faisait qu'au moyen de l'appareil de traction, dès que l'avant du train ralentirait son mouvement, tous les waggons placés derrière viendraient choquer ceux qui les précèdent, en vertu de leur vitesse acquise.

Pour éviter les détériorations du matériel qui résulteraient de ces chocs, on dispose les tampons BB de manière qu'ils se touchent d'une voiture à l'autre. Quand le ralentissement dont nous venons de parler a lieu, la queue du train appuie sur les tampons du premier waggon et fait fléchir le ressort R (fig. 353). Ce ressort est maintenu en son milieu par la tige de traction et pressé à ses extrémités par les tiges de tampons, qui cèdent en glissant dans

le sens de la longueur du châssis. Ici encore le ralentissement ne se fait que progressivement de l'avant à l'arrière du train.

Dans le châssis du chemin de fer de Paris à Rouen, les tiges de tampons sont guidées par de petits sabots en fonte *ss*, fixés (fig. 353) sur les traverses intermédiaires, et par des *faux tampons* MM en bois, garnis intérieurement de fer, fixés sur les traverses extrêmes. Ces tiges sont carrées dans la partie qui traverse le faux tampon, et rondes au delà.

Des deux tampons placés à une même extrémité d'un waggon, l'un est ordinairement plat et l'autre convexe. Le tampon plat est en contact avec un tampon convexe du waggon continu, et le tampon convexe avec un tampon plat.

Dans les châssis des chemins de fer construits plus récemment, le faux tampon est en fonte, la partie de la tige qui le traverse est ronde et tournée avec soin, tandis que le reste est carré. On obtient de cette manière des appareils construits avec plus de précision et qui cependant ne laissent rien à désirer sous le rapport de la douceur du mouvement.

Autrefois on munissait fréquemment les châssis de ressorts de choc et de traction distincts. Cette disposition est bonne en principe, mais elle augmente les frais d'établissement des waggons. On a aussi quelquefois placé les ressorts de choc et de traction contre les traverses extrêmes du châssis. On raccourcit ainsi les tiges de traction et des tampons; mais on charge les extrémités du châssis, qui fléchissent souvent, et l'on fatigue les traverses, qui supportent tous les chocs.

Au chemin de Versailles (rive gauche), on a fait usage de ressorts de choc et de traction beaucoup plus petits (fig. 354). Ces ressorts *rr'* étaient du genre de ceux que l'on nomme *ressorts à pincettes*, et s'appuyaient par leurs extrémités sur la traverse du milieu du châssis. Les tiges *tt*, qui servaient en même temps de tiges de choc et de tiges de traction, portaient à l'une de leurs extrémités un tampon et à l'autre des étriers qui embrassaient les deux ressorts. L'une des tiges portait un seul étrier; l'autre se terminait par une fourche dont chacun des bras formait étrier. Des deux côtés des tampons se trouvaient des crochets et des anneaux reco-

vant les anneaux ou les crochets des chaînes réunissant les voitures. Lorsque l'effet de traction s'exerçait sur la tige B, le ressort était

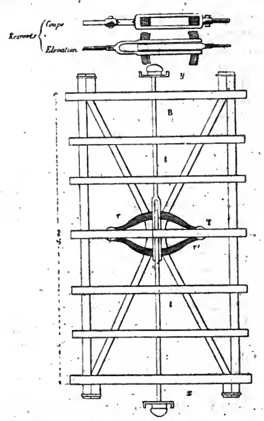


Fig. 354. — Châssis du chemin de fer de Versailles (Rive gauche).

tiré dans la direction xy par son milieu et pressait en se ployant la traverse T par ses extrémités. Cette traverse entraînait le waggon. Dans le cas d'un choc, c'était le ressort r' qui travaillait et qui alors était poussé en son milieu dans la direction yx.

La croix de Saint-André de ces châssis était formée de deux pièces de bois courbées à la vapeur. L'ensemble en était simple et solide; mais les tampons, dans ce système, ne se touchant qu'en

un seul point, le déplacement latéral s'opérait plus facilement, ce qui augmentait le mouvement de lacet.

Quand les châssis deviennent très-longs, on multiplie le nombre des traverses intermédiaires et l'on met quelquefois deux croix de Saint-André, parce qu'une croix unique présenterait des angles trop aigus et ne résisterait pas suffisamment aux efforts qui tendent à déformer le châssis, et surtout parce qu'elle gênerait le passage des roues.

Appareils de choc et de traction. — On a employé quelquefois des *ressorts à boudin* pour les appareils de choc et traction. Nous citerons le châssis du chemin de fer de Glocester à Birmingham, dans lequel l'attelage présente encore cette particularité que les deux crochets de traction sont fixés sur une tige unique. Cette tige agit sur le châssis par l'intermédiaire des ressorts; mais, comme elle est liée par un appareil inextensible aux tiges des autres waggons qui composent le train, l'effort du moteur s'exerce *simultanément* et non *successivement* sur toutes ces voitures. En Angleterre, on fait encore fréquemment usage de ressorts formés d'une barre d'acier méplat contourné en volute.

Depuis quelques années, on se sert aussi sur plusieurs lignes de chemins de fer d'appareils de choc et de traction dans lesquels les ressorts en acier sont remplacés par des rondelles en *caoutchouc vulcanisé*.

La figure 355 représente un tampon de choc de cette espèce. Il se compose d'une cuvette en fonte C alesée dans la partie *cc*. Un cylindre creux en fonte tourné pénètre à frottement doux dans cette cuvette; il est muni d'une tige cylindrique *t* en fer fixée en son milieu; cette tige traverse le fond de la cuvette et porte à son extrémité un écrou qui sert à donner la tension nécessaire aux *rondelles de caoutchouc vulcanisé rr* contenues dans la cuvette et séparées les unes des autres par d'autres rondelles en fer ou en cuivre *r'r'*.

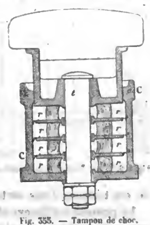


Fig. 355. — Tampon de choc.

Les ressorts de traction en caoutchouc vulcanisé présentent beaucoup d'analogie avec les précédents.

Les tampons de choc en caoutchouc à quatre rondelles sont assez économiques, mais ils manquent de course et sont par conséquent peu efficaces. Souvent on augmente le nombre des rondelles; alors on les place à l'intérieur du châssis, entre deux traverses, sur des tiges de choc analogues à celles que nous avons décrites pour les ressorts en acier. Cet appareil est bon, mais dispendieux.

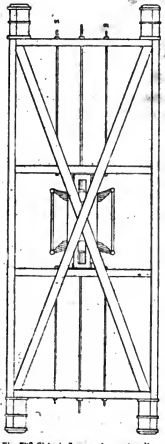


Fig. 356. Châssis de wag. à marchandises.

On a employé le caoutchouc vulcanisé comme tampons de choc pour les waggons à marchandises; il donne de bons résultats quand il est bien préparé; mais les ressorts en acier fondu au prix actuel de l'acier ne sont pas beaucoup plus coûteux et sont plus durables.

Dans les waggons à marchandises, on supprime, sur certaines lignes, les appareils de chocs élastiques, et on les remplace par des tampons fixes formés par le prolongement des brancards (fig. 356). On rapporte sur le côté et au-dessus de ce prolongement des pièces de bois qui en augmentent la section, on relie le tout par des frettes et des boulons, et on recouvre quelquefois l'extrémité de ces tampons d'une sorte de matelas en cuir et en crin.

Le premier établissement de ces tampons est économique; mais, comme ils sont peu ou point élastiques, les châssis qui en sont munis sont promptement disloqués par les chocs qu'ils reçoivent, surtout dans les manœuvres des trains de marchandises. *Il convient*

donc de placer des ressorts de choc même sur les waggons à marchandises.

Anciennement, on employait fréquemment des châssis dits *doubles*. Ils consistaient en deux châssis superposés et séparés par des tasseaux ou par les extrémités des traverses. Ces châssis avaient l'avantage de n'exiger que des bois d'un faible équarrissage; mais ils présentaient beaucoup d'assemblages et n'étaient durables qu'à la condition d'être consolidés par un grand nombre de ferrures coûteuses.

Dans ces derniers temps, on est revenu aux châssis doubles modifiés pour les waggons à marchandises. La figure 337 représente un châssis de ce genre construit au chemin de fer d'Orléans. Les brancards de ce châssis, composés de deux pièces qui serrent entre elles les traverses, présentent l'aspect de véritables poutres armées, et ont par cela même une grande rigidité dans le sens vertical. Les assemblages sont de simples entailles très-peu profondes : le tout est relié par des boulons qu'on peut resserrer à volonté si les pièces prennent du jeu. Le cours de brancards supérieurs est entre-toisé par une croix de Saint-André. Ce châssis est léger, mais il est difficile à bien établir. Aux chemins de l'Est, on en a été peu satisfait. Il est fort coûteux d'entretien.

Châssis belge. — A une certaine époque, on cherchait beaucoup à abaisser le centre de gravité du matériel roulant des chemins de fer. Cette préoccupation des ingénieurs a fait naître un système de châssis connu sous le nom de *châssis belge*, employé et perfectionné en Allemagne.

Les châssis des voitures à voyageurs sur les chemins belges (fig. 338) se composent de deux brancards boulonnés sur quatre traverses entre lesquelles sont placées les roues, qui sont extérieures aux brancards.

Les caisses, dont le fond est formé de deux cadres indépendants, reposent sur les brancards. Ces cadres, quoique faisant partie des caisses, peuvent être également considérés comme appartenant au train ou à son châssis, car ils lui sont liés invariablement et servent à guider les appareils de traction et de choc.

Les plaques de garde sont posées en dehors des roues et relient

les traverses l'une avec l'autre au moyen d'un double T en fer.

Sur les boites à graisse sont fixés les ressorts, qui, reliés aux traverses au moyen de menottes en fer, supportent le châssis.

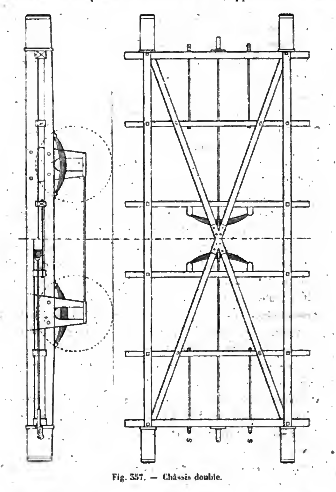


Fig. 357. — Châssis double.

Les ressorts de choc et de traction sont placés au-dessus de la traverse extrême de chaque châssis. Les tampons sont à l'aplomb des brancards et glissent ainsi que les ressorts dans des pièces spéciales en fonte.

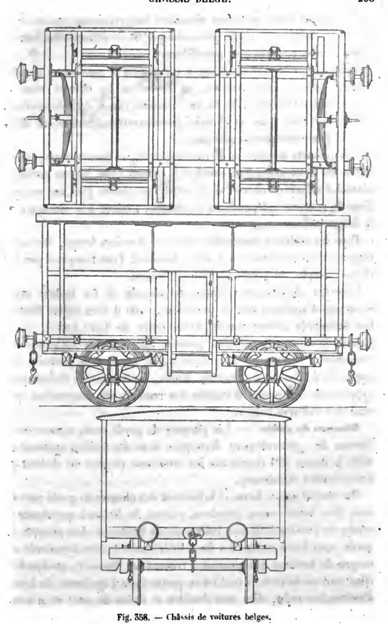


Fig. 358. — Châssis de voitures belges.

Le châssis belge présente plusieurs inconvénients graves : n'étant entre-toisé par aucune pièce oblique, il se déforme facilement et les essieux perdent leur parallélisme.

Les brancards, reposant sur les traverses à une assez grande distance des points d'appui, en reportent la charge vers le milieu et les font plier. De là une nouvelle cause de déformation.

La caisse étant fixée au châssis, les réparations deviennent difficiles et par conséquent coûteuses.

Les ressorts de choc et de traction enfin, se trouvant aux extrémités des brancards, font courber le châssis dans le sens vertical ; alors les efforts de choc et de traction, n'agissant plus sur un système de ressorts indépendants du châssis, tendent à le disloquer et le fatiguent beaucoup.

Pour les voitures construites dans ces derniers temps, les ingénieurs belges ont renoncé à leur châssis et l'ont remplacé par un châssis simple, du genre de celui de Rouen.

L'ancien châssis des voitures du chemin de fer badois avait beaucoup d'analogie avec le précédent, mais il était mieux étudié. Les brancards étaient munis d'une croix de Saint-André, et le châssis de caisse régnait dans toute sa longueur, de sorte que les longerons s'opposaient à la flexion que tendent à produire les appareils de choc et de traction. Enfin, ses brancards étaient plus rapprochés des points d'attache des ressorts de suspension que ceux des voitures belges.

Plaques de garde. — Les plaques de garde sont, comme nous l'avons dit, généralement découpées dans des feuilles épaisses de tôle ; la figure 359 représente les anciennes plaques du chemin de fer de Paris à Strasbourg.

On conçoit que la forme et la hauteur des plaques de garde varient dans des limites assez étendues, suivant la distance qui sépare le centre de l'essieu de la face inférieure du brancard. Les plaques de garde sont fixées contre les faces intérieures de ces brancards au moyen de boulons qui passent à travers les trous *tt* ; quelquefois elles sont encastrées en tout ou en partie dans l'épaisseur du bois ; d'autres fois enfin, elles sont doubles et fixées de part et d'autre aux brancards.

On réunit les deux branches des plaques de garde au moyen d'une petite traverse en fer qui les consolide. Généralement les deux tra-

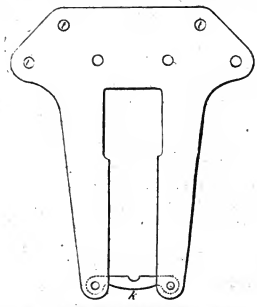


Fig. 359. — Ancienne plaque de garde du chemin de Strasbourg.

verses des plaques de garde d'un même côté sont venues de forge aux extrémités d'une barre de fer unique, qui relie ainsi ces deux plaques de garde *a*, figure 360.

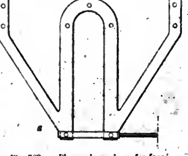


Fig. 360. — Plaque de garde en fer forgé.

On construit actuellement en Angleterre et en France la plupart des plaques de garde en fer laminé. Ces plaques (fig. 360), bien que fabriquées en fer de bonne qualité, sont un peu moins coûteuses que celles en tôle, et, comme leurs points d'attache sur les brancards sont fort écartés, leur position par rapport au brancard est invariable.

Attelages. — Les attelages des waggons d'un même convoi, ou des tenders aux waggons, ont toujours lieu par le milieu.

On a d'abord réuni les waggons au moyen de simples chaînes, puis on a essayé des barres rigides, puis enfin on a fait usage de tendeurs.

On donne aux chaînes assez de longueur pour que la machine, quand elles sont détendues, puisse mettre en mouvement chaque waggon séparément. Il en résulte plus de facilité pour la mise en marche du convoi (démarrage); mais les voyageurs reçoivent, au moment du départ, des secousses d'autant plus désagréables que le mécanicien prend moins de précautions. Ces chocs d'ailleurs nuisent beaucoup à la conservation du matériel. On évite ces secousses en se servant de barres rigides; mais il devient difficile alors de mettre le convoi en mouvement, et le choc, en cas d'arrêt de la machine, est également violent pour tous les waggons.

Les *tendeurs*, représentés fig. 361, se composent de deux mail-

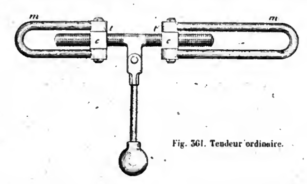


Fig. 361. Tendeur ordinaire.

les *m* et *m'*, portant des écrous *c*, *c'*. L'une des mailles est fixée à demeure dans un œil ménagé dans l'un des crochets de traction; l'autre s'engage dans le crochet du waggon suivant. Les deux écrous sont réunis par une tige *t* avec pas de vis en sens inverse, de telle sorte qu'en faisant tourner cette tige, on rapproche ou l'on écarte les écrous et par suite les waggons.

Les tendeurs sont employés avec les voitures à deux tampons; en formant les trains, on les serre jusqu'à ce que les tampons des voitures consécutives exercent les uns sur les autres une pression

assez considérable. Cet appareil évite les secousses et diminue l'intensité des chocs; il ralentit à la vérité un peu le démarrage du train pour les premiers tours de roues; mais, en marche, il s'oppose efficacement au mouvement de lacet. (Mouvement de rotation alternatif du véhicule autour d'un axe vertical passant par le centre de figure du châssis, combiné avec le mouvement de translation du convoi.)

Quand les voitures sont montées avec soin, et les *roues jumelles* d'un diamètre parfaitement égal, ce mouvement devient, par l'usage des tendeurs, presque nul.

On s'est servi pendant quelques années, pour l'attelage, de tendeurs d'un nouveau modèle, dits *tendeurs Lassale*, du nom de leur inventeur (fig. 362). Cet appareil ne diffère du tendeur ordinaire

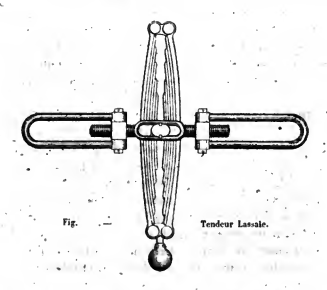


Fig. . — Tendeur Lassale.

qu'en ce que la vis est en deux parties réunies par deux petits ressorts. Avec le tendeur Lassale, on peut supprimer complétement les ressorts de traction; c'est ce qu'on a fait sur plusieurs chemins de fer. On a employé pour les waggons à marchandises, et même quelquefois pour les voitures à voyageurs, un système d'attelage

qui se compose d'un tendeur à ressorts pour la traction, et de tampons en caoutchouc pour le choc.

Malgré l'économie importante qui résultait de l'emploi du tendeur Lassale, on l'a abandonné sur les chemins de l'Est, parce qu'il est lourd, et que la formation des trains devenait, avec cet appareil, pénible et même dangereuse.

De part et d'autre du crochet d'attelage, à une distance d'environ $0^m,50$, on dispose ordinairement deux chaînes terminées par des crochets. Ces chaînes, dites *chaînes de sûreté*, sont d'une longueur telle, que, dans les circonstances ordinaires, elles ne sont pas tendues; mais, si le tendeur ou le crochet d'attelage vient à se casser, ou si le train reçoit un effort brusque qui brise l'appareil de traction, ces chaînes se tendent et remplacent cet appareil ou lui viennent en aide.

En Angleterre, on renonce généralement aux chaînes de sûreté, qui cèdent presque toujours quand l'attelage vient à se briser. Sur les lignes où elles ont été conservées, on n'en met plus qu'une seule, au droit du crochet de traction, parce qu'il est fort rare que les deux chaînes agissent ensemble, surtout dans les courbes.

Aujourd'hui on a remédié en partie à la rupture des chaînes de sûreté par l'addition, à l'extrémité de la tige de traction, d'une rondelle en caoutchouc qui cède sous la tension de la chaîne et par conséquent diminue l'effort brusque de traction qui se produit ordinairement lorsque les chaînes sont tendues.

Il existait aussi dans l'ancien matériel de Strasbourg à Bâle une disposition de chaînes de sûreté que l'on aurait dû conserver dans la construction des autres matériels.

Les deux chaînes de sûreté n'étaient distantes l'une de l'autre que de 20 centimètres environ. Les extrémités étaient reliées comme le crochet de traction au collier du ressort de traction. Cette disposition a non-seulement l'avantage de diminuer considérablement l'effort brusque de traction, mais aussi celui de ramener tout le système de traction dans l'axe du châssis, et par conséquent de remédier à l'inconvénient actuel des chaînes de sûreté, de tirer obliquement dans les courbes lorsqu'elles remplacent l'attelage du tendeur.

Si un essieu vient à se rompre, les attelages doivent soutenir la voiture : il est donc important de les rendre assez solides pour que, dans ce cas, ils puissent résister. On a conseillé de faire moins fort l'attelage de la locomotive au train, afin que celle-ci, déraillant, ne pût entraîner à sa suite tout le convoi ; nous ne saurions approuver cette disposition : il en résulterait des ruptures fréquentes en marche ordinaire ; et, par conséquent, des irrégularités dans le service.

Au chemin de fer de Rouen, on s'est servi, pour détacher la machine à l'arrivée, sans arrêter le convoi, d'un crochet mobile (fig. 363).

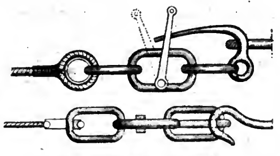


Fig. 363. — Crochet mobile du chemin de Rouen.

Ce crochet mobile est, d'une part, engagé sur le crochet fixe d'attelage du premier waggon du convoi, et, d'autre part, il est fixé par trois anneaux à la corde au moyen de laquelle la machine traîne obliquement le convoi. Lorsque le moment est venu de séparer la machine du convoi, un ouvrier, qui tient à la main un bout de corde attaché à une chape qui sert à fixer le crochet, tire le bout de corde à lui, de manière que la chape prenne la position indiquée en lignes ponctuées. Le crochet mobile se sépare alors du crochet d'attelage du convoi, et la machine, par conséquent, cesse de remorquer les waggons.

Au chemin de Saint-Étienne à Lyon, on a employé un autre crochet fort ingénieux, au moyen duquel on peut, le convoi étant en marche, dételer instantanément la machine. Ce crochet est manœuvré par un mécanisme qui agit aussi sur un frein que l'on serr

tout en dételant la machine. Il n'a pas été adopté sur d'autres lignes parce que, en cas d'accident, les conducteurs des trains n'ont pas le temps et la présence d'esprit nécessaires pour le faire fonctionner. C'est ce qui arrive pour presque toutes les dispositions qui ont été imaginées dans le même but.

Suspension. — Les voitures qui marchent à de grandes vitesses sur les chemins de fer sont généralement suspendues sur des ressorts; mais le mode de suspension est encore loin d'atteindre la perfection de celui de nos voitures ordinaires. Cependant, depuis l'adoption des nouveaux ressorts en acier fondu de M. Lassale, cette partie de la construction du matériel roulant a fait un progrès très-sensible.

En général les ressorts reposent sur les boîtes à graisse (fig. 364);

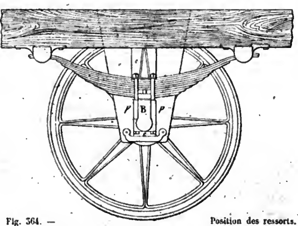


Fig. 364. — Position des ressorts.

cependant ils passent quelquefois en dessous. Cette disposition permet d'abaisser la caisse, mais elle rend difficile la visite des fusées et des boîtes à graisse.

Dans les voitures à voyageurs du chemin de fer de Rouen et dans celles de tous les chemins de fer construits depuis l'ouverture de cette ligne, le châssis est suspendu par des *menottes en cuir* à des ressorts longs et plats (fig. 365). On fait varier la tension des ressorts en écartant ou en rapprochant les supports de suspension au moyen d'appareils à vis dont nous représentons un spéci-

men fig. 367. Antérieurement, on faisait simplement reposer les

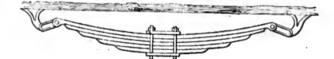


Fig. 365. — Mode de suspension.

extrémités des ressorts sur des sabots en fonte boulonnés sous les

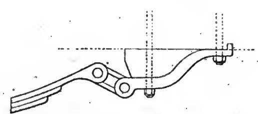


Fig. 366. — Autre mode de suspension.

longerons des châssis, disposition encore usitée pour les waggons à

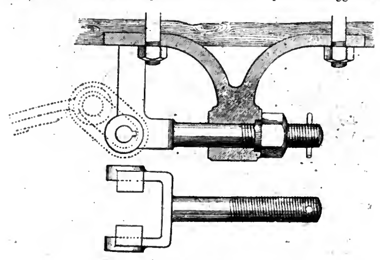


Fig. 367. — Support avec vis de rappel.

marchandises sur plusieurs chemins de fer. Les figures 366 et 368

représentent deux autres modes de suspension des waggons à marchandises qui ont été employés sur le chemin de fer de Paris à Strasbourg : le premier consiste en une menotte en fer; le second se compose de *mains* en fer qui appuient sur les extrémités des ressorts. En serrant ou desserrant l'écrou *e*, on parvenait à régler la



Fig. 368. — Support avec vis de pression.

hauteur des tampons; aujourd'hui on préfère se servir de cales en bois pour cet usage, et ces appareils sont abandonnés. Les appareils tendeurs pour ressorts de suspension conviennent très-bien aux voitures à voyageurs, en ce qu'ils permettent de donner aux ressorts une tension initiale considérable qui diminue l'amplitude des oscillations, et rend ainsi le mouvement plus doux.

On faisait jusque dans ces derniers temps les ressorts de waggons en acier de cémentation; M. Lassale a introduit dans leur fabrication l'acier fondu, que son élasticité, son homogénéité et sa résistance à la rupture paraissent rendre supérieur à l'acier de cémentation pour cet usage.

Quelques ingénieurs, cependant, persistent à employer l'acier de cémentation [1].

Les ressorts de suspension, pour être doux, doivent être longs et plats; ceux de choc et de traction, au contraire, doivent, pour résister convenablement aux violentes secousses auxquelles ils sont soumis, être fortement cintrés.

En leur milieu, ils sont fixés dans une bride munie d'un renflement cylindrique dans lequel l'extrémité de la tige de traction est assemblée au moyen d'une clavette.

Boites à graisse. — La figure 369 représente en plans, coupes et élévations la boîte à graisse des waggons du chemin de fer de

[1] Voir le savant mémoire de M. Philipps sur l'emploi des ressorts en acier. (*Annales des mines*, année 1852.)

Paris à Strasbourg. Cette boîte se compose de quatre parties. le *corps de la boîte*, le *coussinet*, le *fond* et le *couvercle*.

Le corps en fonte est de forme à peu près prismatique. Il porte latéralement en *rr* deux rainures dans lesquelles se logent les deux branches de la plaque de garde. La saillie en fer à cheval *ss* ne sert, comme nous le verrons plus loin, que dans les waggons à frein. La cavité C contient la graisse destinée à lubréfier la fusée; elle est fermée à sa partie supérieure par un *couvercle* en tôle dont la partie *a*, assemblée à charnière, permet de renouveler la graisse. Celle-ci est composée de matières grasses plus ou moins fluides suivant la saison, et saponifiées partiellement par l'adjonction d'une certaine quantité de soude; elle arrive sur la fusée par deux trous percés dans la boîte et dans le *coussinet* en bronze.

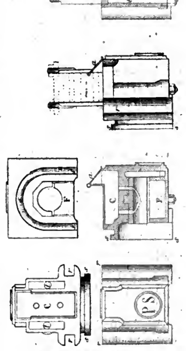


Fig. 369. — Boîtes à graisse.

Le coussinet se fait généralement en bronze, composé de 82 parties de cuivre et 18 parties d'étain. On a employé des coussinets composés d'un alliage différant peu du métal des caractères d'imprimerie, et auquel on avait donné le nom assez impropre de métal *antifriction*. Cet alliage, au bout de peu de temps, était écrasé par le poids de la caisse, et le frottement alors augmentait au lieu de diminuer. En Allemagne on emploie d'autres alliages de composition variée, dont nous parlerons plus loin.

Le fond F de la boîte est en fonte: il reçoit la graisse qui tombe de la fusée après s'être fondue, et empêche les matières étrangères

entraînées par le passage du train de venir s'attacher à la fusée.

Le fond est réuni au corps de la boîte par deux *boulons* à brides qui passent dans les trous *tt*. Ces *brides* servent en même temps à fixer la boîte sous le ressort; à cet effet, les quatre branches sont réunies à leur partie supérieure au moyen d'une *platine* ou *entretoise* en fer, sur laquelle s'appuient les écrous de ces branches.

Anciennement les boîtes à graisse étaient ajustées avec soin dans les plaques de garde; actuellement on leur donne au contraire du jeu dans tous les sens. Cette disposition facilite le passage dans les courbes, et est du reste économique. On a remarqué qu'en marche les boîtes flottaient *entre les branches des plaques de garde.*

Bien que l'on varie la composition de la graisse suivant les saisons, elle n'en devient pas moins dure en hiver, au point d'augmenter très-sensiblement la résistance.

Graissage à l'huile. — Depuis longtemps on emploie en Allemagne l'huile de préférence à la graisse. En France, depuis longtemps, par des raisons que nous ferons connaître un peu plus loin, on a hésité à en faire usage.

En ce moment, cependant, toutes nos grandes compagnies françaises s'occupent d'essais ayant pour objet de remplacer la graisse par le graissage à huile. Nous rendrons compte de ces essais. Nous croyons devoir auparavant indiquer sommairement les différentes espèces de boîtes à huile qui ont été employées successivement sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, et sur un grand nombre de chemins de fer en Allemagne. Ces différentes boîtes sont représentées par les figures ci-après.

Au chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon, on a employé pendant longtemps un système de graissage à l'huile dans lequel la matière grasse était contenue dans le fond de la boîte.

Un petit cylindre à tourillons (fig. 370), placé sous la fusée et constamment appliqué contre cette fusée au moyen d'un ressort portant de bas en haut sur les coussinets qui portent les tourillons, plongeait par sa partie inférieure dans l'huile. Quand la fusée tournait, elle imprimait un mouvement de rotation au cylindre, qui entraînait avec lui une certaine quantité d'huile; la fusée était ainsi

enduite d'huile sans cesse renouvelée. Ce mode de graissage, qui donnait d'assez bons résultats, a été abandonné, parce que, n'étant pas appliqué à tous les véhicules de cette ligne, il exigeait des appareils et des approvisionnements spéciaux.

La fig. 371 représente la boîte à huile du waggon type américain, introduite en 1844, par M. Klein, sur les chemins de fer wurtembergeois (Tim's patent Necoyak). Le graissage, dans cette boîte, se fait au moyen d'étoupe ou d'éponge imbibée d'huile, bourrée autour de la fusée. Le collet d'avant est engagé dans la boîte. L'huile tombe par le collet d'arrière dans un réservoir spécial inférieur, où elle est recueillie. La boîte est fermée hermétiquement à l'arrière de la fusée, au moyen d'une garniture en feutre ou en cuir maintenue par des platines en fer. Cette garniture et ces platines ont pour objet d'empêcher les pertes d'huile et de s'opposer à l'introduction du sable. Le réservoir d'huile est placé en dessous de la matière capillaire, qui s'imbibe naturellement.

Au chemin de Bâle à Strasbourg, on a porté l'huile du réservoir inférieur sur la fusée au moyen de la chaînette Jaccoud passant sur la fusée.

Cette chaînette a l'inconvénient de faire mousser, par l'agitation qu'elle produit, l'huile, qui s'imprègne de particules métalliques, s'épaissit et lubréfie imparfaitement les surfaces.

La boîte fig. 372 est une ancienne boîte des chemins de fer badois, rapportée d'Allemagne en 1844 par M. Lechatelier. L'huile est renfermée dans un réservoir inférieur dépassant les collets de la fusée. Le graissage a lieu par la capillarité d'une mèche appuyée contre la fusée par un levier à contre-poids. Cette boîte est évidée à sa partie supérieure, de manière à recevoir au besoin une provision de graisse.

Sur les chemins du Wurtemberg, on emploie, depuis 1844, la boîte fig. 373. On remarque, en étudiant le dessein de cette boîte, que :

1° Le réservoir inférieur pour l'huile est placé sous la fusée;

2° L'huile monte contre le dessous de la fusée par un rouleau flotteur en fer-blanc plongeant dans l'huile et mis en mouvement par son contact sur la fusée;

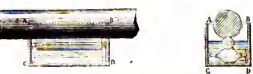


Fig. 370. — Boîte de Séguin aîné (chemin de Saint-Étienne).

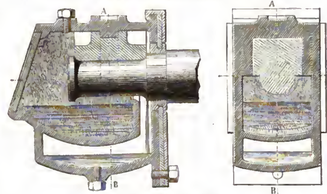


Fig. 371. — Boîte américaine.

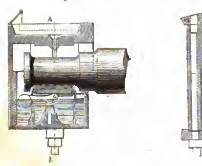


Fig. 372. — Boîte badoise importée par M. Lechatelier.

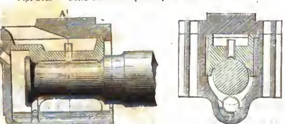


Fig. 373. — Boîte wurtembergeoise.

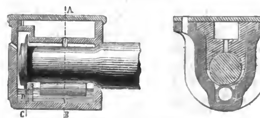


Fig. 374. — Boîte Winans, de Baltimore.

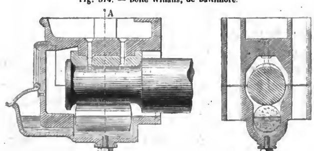


Fig. 375. — Boîte du chemin de Cologne à Minden.

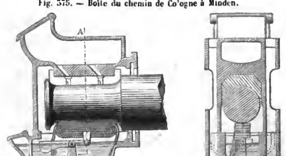


Fig. 376. — Boîte du chemin de Tours à Nantes.

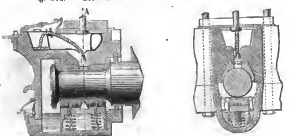


Fig. 377. — Boîte Neesen (Oppeneau).

3° Le dessous de la boîte dépasse le collet de la fusée, afin que l'huile y retombe de la fusée après avoir servi;

4° Une cloison placée à l'avant forme un compartiment au-dessus duquel se trouve le collet de la fusée. Cette cloison est percée d'un trou qui permet à l'huile qui tombe par le collet dans le compartiment d'effectuer son retour au réservoir principal.

Au chemin de Baltimore en Amérique on se sert d'une boîte semblable (fig. 374) : le cylindre graisseur est en liége au lieu d'être en fer-blanc, et l'extrémité de la fusée est garnie d'un disque chargé de porter l'huile sur la fusée.

La figure 375 représente la boîte à huile du chemin de Cologne à Minden, construite en 1845. Le rouleau graisseur de cette boîte est en liége. Il flotte dans l'huile et produit un graissage très-abondant. Le dessous de la boîte se prolonge jusqu'au delà des deux collets de la fusée. L'huile qui tombe par ces collets est ainsi recueillie et forcée d'effectuer son retour au réservoir central, d'où elle est reprise et remontée sur les surfaces de frottement.

Au chemin d'Orléans, M. Polonceau se sert d'une boîte particulière semblable à celle de Neesen (fig. 376), au moyen de laquelle on emploie ordinairement l'huile et accidentellement la graisse comme moyen de graissage.

Laissons parler M. Polonceau lui-même sur la disposition de cette boîte et sur ses avantages. Voici dans quels termes il s'exprime :

« Malgré les avantages du graissage à l'huile, malgré son emploi général et fort ancien en Allemagne et bien connu en France, des raisons de sécurité nous avaient empêché de l'appliquer au matériel du chemin d'Orléans; et, en effet :

« Lorsque, par une cause quelconque, une boîte graissée à l'huile commence à s'échauffer, l'huile devient immédiatement très-fluide, et sous de fortes pressions ne reste plus interposée entre les surfaces, qui se grippent avec une très-grande rapidité. Sur les machines où toutes les boîtes sont graissées à l'huile et qui sont sous les yeux du mécanicien, souvent on n'a que le temps d'arrêter en route dès que le chauffage se manifeste, et quelquefois même avec cette surveillance et malgré un prompt arrêt le grippage a déjà atteint de graves proportions.

« Dans un waggon qui ne peut être vu qu'aux stations, si un pareil fait se produisait en route, la fusée pourrait être coupée avant qu'on se fût aperçu du mal, ce qui occasionnerait un accident grave.

« La graisse solide, au contraire, même à haute température, se maintient entre les surfaces et permet toujours d'arriver aux points d'arrêt.

« Par ces raisons, le graissage à la graisse avait été exclusivement maintenu, jusqu'au jour où, par une disposition que nous avons imaginée, ces inconvénients graves ont pu être évités.

« Cette disposition, appliquée à toutes les boîtes mises à l'huile, est la suivante :

« Le réservoir supérieur à graisse solide est maintenu et empli de graisse comme à l'ordinaire; les trous de communication avec la fusée sont bouchés avec du métal fusible de Darcet, dont on règle le degré de fusion à volonté.

« Dans ces conditions, lorsque le graissage à l'huile marche convenablement, il fonctionne seul; lorsque la boîte s'échauffe et qu'elle atteint le degré prévu comme ne pouvant plus bien fonctionner avec l'huile, le métal fond, coule sans rien endommager, et la graisse, fonctionnant comme dans l'ancien graissage, vient d'elle-même, et sans nécessiter l'arrêt ni l'intervention de personne, lubréfier la fusée, faisant disparaître ainsi les dangers d'accidents.

« Chaque jour quelques boîtes à l'huile chauffent, les bouchons fondent, et la graisse fonctionne et rend les services qu'on en devait attendre. (La moyenne des boîtes dont les bouchons fondent en service est de 6 à 7 par jour sur notre réseau.)

« C'est après avoir imaginé ce système que nous nous sommes rendu en Allemagne pour y étudier le graissage à l'huile et prendre connaissance de ce qui y avait été fait.

« Après avoir vu sur les différents chemins de fer fonctionner les divers systèmes et pris des renseignements certains sur les résultats obtenus avec chacun, nous avons reconnu que le système Neesen était celui que nous devions préférer.

« Nous étant mis en rapport avec M. Neesen, alors ingénieur en chef du chemin de fer de Cologne à Minden, qui nous a déclaré que son système était breveté en France, nous avons traité avec lui;

et, ayant fait démonter devant nous une boîte à graisse en service sous un waggon du chemin de fer de Cologne à Minden, nous l'avons rapportée et donnée comme modèle de l'appareil de graissage à appliquer à nos boîtes. C'est ce modèle qui a été scrupuleusement suivi pour nos brosses à graisser. »

La boîte fig. 377 est celle connue sous le nom de boîte de Neesen, qui est employée sur le chemin de Cologne à Minden et sur un très-grand nombre de chemins de Prusse.

Le graissage a lieu par une espèce de brosse très-douce en laine ou en coton, retournée vers la fusée qui donne l'huile comme le feraient des pinceaux. Les poils de la brosse ne s'écrasent pas contre la fusée par l'interposition entre elle et le bois de la brosse d'une petite pièce en bois qui en maintient la distance respective. Ce mode de graissage donne l'huile plus abondamment que la mèche plate, 1° parce que la brosse en contient plus; 2° parce que la pression contre la fusée n'ayant pas lieu comme dans le système ordinaire de mèche plate, la capillarité n'est pas détruite ou diminuée; 3° parce que la limaille et le cambouis, qui, déposés sur la fusée, restent à la surface de la mèche plate et en bouchent promptement les pores, descendent dans la brosse et se logent entre les poils; 4° parce que les mèches plates se coupent très-promptement par le frottement et alors fonctionnent mal, tandis que la brosse s'use très-peu et fait un long service. Au lieu de contre-poids pour maintenir l'appareil de graissage Neesen, on emploie des ressorts à boudin. La brosse, enfin, est guidée par des moyens qui diffèrent de ceux employés précédemment. Un feutre fixé sur l'essieu empêche la déperdition de l'huile à la partie postérieure de la boîte.

Dans les boîtes allemandes (fig. 378 *a* et 378 *b*), l'huile est portée sur la fusée par une mèche pressée par un levier à contre-poids, ou bien elle est placée dans un réservoir supérieur et portée sur la fusée par une mèche faisant office de siphon. Le coussinet de cette boîte est en bois dur.

Au chemin du Nord, la Compagnie s'est d'abord servie de la boîte à huile représentée fig. 379, boîte dans laquelle l'huile, étant placée dans un réservoir inférieur, est aspirée par des mèches qui la portent sur une espèce de coussin en peau d'agneau appliqué

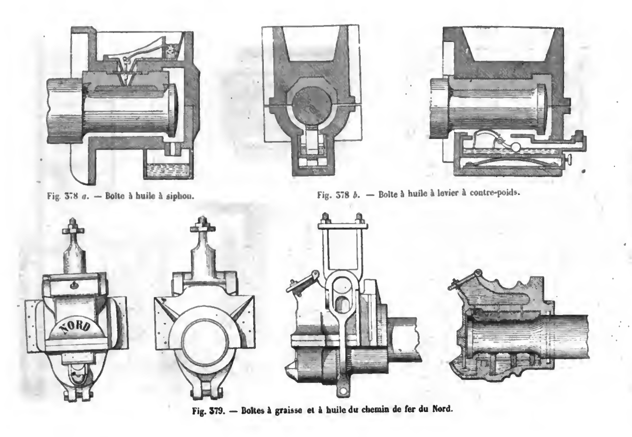


Fig. 378 a. — Boîte à huile à siphon.

Fig. 378 b. — Boîte à huile à levier à contre-poids.

Fig. 379. — Boîtes à graisse et à huile du chemin de fer du Nord.

contre la fusée, et pressé de bas en haut par des ressorts à boudin; mais elle a été obligée de suspendre ses essais, à la suite d'un procès que M. Decoster lui a intenté et qui n'est pas encore jugé. Les ingénieurs du Nord paraissent se préoccuper surtout des pertes d'huile provenant de la capillarité, qui la fait remonter entre les surfaces des pièces juxtaposées. On cherche à éviter autant que possible cette juxtaposition dans les nouvelles boîtes qu'on étudie.

Le premier essai fait au chemin de fer de l'Est, pour le graissage à l'huile, a consisté dans l'emploi du système dans lequel le graissage se fait par un flotteur garni de mèches et tenu toujours en contact avec la fusée par un ressort à boudin (fig. 380). Pour appliquer ce système, il suffit de changer le dessous des boîtes à graisse. Cette disposition a un grand inconvénient : les mèches ne résistent

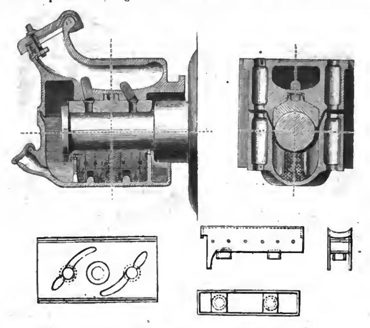


Fig. 380. — Boîte à huile du chemin de fer de l'Est.

pas, elles doivent être trop fréquemment changées, et, pour un matériel considérable, l'entretien est difficile et onéreux. En outre, dans

ce système, de même que dans tous ceux usités en Allemagne et dans le système primitivement adopté au chemin du Nord, la dépense en huile est extrêmement considérable, à cause de la déperdition qui a lieu à l'arrière de la boîte à graisse, au contact avec la fusée.

On a aussi essayé aux chemins de fer de l'Est la boite du Nord; mais on trouve que, l'huile s'épaississant au bout de quelque temps, les coussins se chargeaient de cambouis et ne fonctionnaient plus convenablement. C'est, au reste, ce qu'on paraît avoir remarqué aussi au chemin de Lyon, où des expériences nombreuses ont été faites à ce sujet.

En dernier lieu, on a entrepris, aux chemins de fer de l'Est, trois essais à l'aide desquels on espère résoudre définitivement la question; ces essais sont :

1° Le système Vallod, qu'on expérimente aussi au chemin de Lyon. Le graissage se fait, comme anciennement au chemin de Saint-Étienne à Lyon, par un rouleau appliqué contre la fusée au moyen d'un contre-poids ou d'un ressort. Le rouleau est mis en mouvement par le frottement même de la fusée. Il peut être à la rigueur appliqué en se bornant à changer le dessous de la boîte à graisse, mais la déperdition de l'huile a toujours lieu par le collet, comme dans les autres systèmes. On obvie à cet inconvénient, au chemin de fer de l'Est, en adaptant sur la portée de calage, et près de la fusée, une rondelle conique dont la base est tournée vers l'intérieur de la boîte à graisse. La force centrifuge ramène constamment l'huile sur l'arête inférieure, et il n'y a plus de déperdition. Cette disposition exige le changement complet de la boite à graisse.

2° Le système Dietz (fig. 381), où la fusée plonge de 25 millimètres dans l'huile. Pour éviter la perte d'huile, qui serait beaucoup plus considérable que dans les autres systèmes, par suite de la différence de niveau résultant de la différence des diamètres de la fusée et de la portée de calage, une cavité est ménagée à l'arrière de la boîte à graisse pour contenir l'huile qui s'échappe. Cette huile est reprise par une rondelle conique dans le genre de celle du système précédent et ramenée par la force centrifuge au-dessus du coussinet et de là dans le réservoir principal.

3° Le 3ᵉ système (fig. 382) supprime tout réservoir sous la fusée.

L'huile est prise dans une cavité à l'arrière de la boîte à graisse par

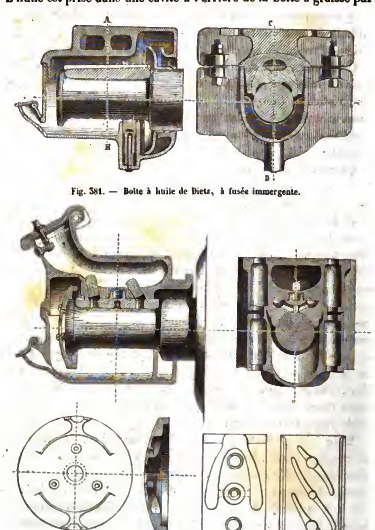


Fig. 381. — Boîte à huile de Dietz, à fusée immergente.

Fig. 382. — Autre boîte à huile.

une rondelle fixée, comme les précédentes, sur la portée de calage, mais d'une forme *lenticulaire*, dont la concavité est tournée vers la fusée. La force centrifuge emporte l'huile sur cette rondelle, d'où elle retombe sur le coussinet, qui la conduit à l'aide de lumières sur la fusée comme dans le système à la graisse; cette huile retourne dans la partie inférieure de la boîte à graisse, d'où elle est reprise par la rondelle.

On observera que la Compagnie d'Orléans est la seule qui ait considéré l'emploi simultané de la graisse et de l'huile comme absolument nécessaire.

Nous terminerons cet article sur les boîtes à graisse ou à huile par la description d'une boîte spéciale dans laquelle on a intercalé des rouleaux métalliques entre la fusée et la boîte, afin de convertir le frottement de glissement en frottement de roulement (fig. 383).

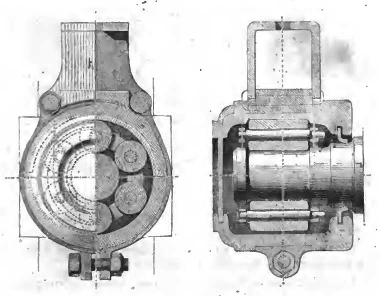


Fig. 383. — Boîte à rouleaux.

L'idée première de cette boîte est due à M. Emile Wissocq, ingénieur hydrographe, qui en a fait l'essai en notre présence, il y a

plus de vingt ans. On en fait usage aux chemins de fer de l'Est, pour faciliter la manœuvre des waggons de service dans le système de Dünn; mais on ne s'en est pas servi jusqu'à ce jour pour les waggons de voyageurs ou de marchandises.

Les rouleaux portent à leurs extrémités de petits tourillons qui s'engagent dans des couronnes qui en maintiennent l'écartement.

On a aussi réduit le frottement dans le chariot au moyen de galets. Nous avons vu la même disposition appliquée, il y a près de trente ans, à des chariots pour le transport de la marchandise (fig. 384), au chemin de Bolton à Leigh, en Angleterre; mais on

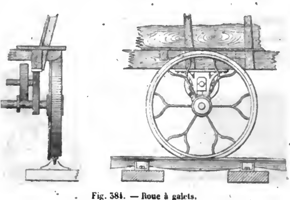


Fig. 384. — Roue à galets.

y a renoncé, parce que le graissage des axes des galets n'était pas sans difficulté et que, d'ailleurs, l'entretien de ces galets était assez dispendieux.

Roues. — Les roues des waggons ne sont pas semblables à celles des voitures ordinaires, qui ne seraient pas assez solides et coûteraient très-cher d'entretien.

Elles sont entièrement en fonte et fer, quelquefois en fonte ou fer seulement; leur diamètre varie de $0^m,90$ à 1 mètre.

Les roues toutes en fonte (fig. 385) sont, à cause de leur grande fragilité, entièrement abandonnées en France. En Amérique, ces roues sont encore très-répandues, même pour les voitures à voyageurs. Elles doivent être coulées en coquille, c'est-à-dire dans un moule en métal et non dans un moule en sable.

Les roues des waggons de terrassement employés en Europe, il y a quelques années, étaient aussi en fonte, coulées en coquille. Aujourd'hui les rais sont en fer forgé, en sorte que le cercle et le moyeu seuls sont en fonte. Le cercle est coulé en coquille.

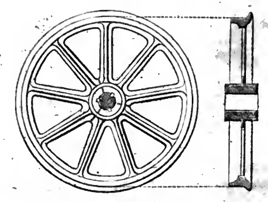


Fig. 385. — Roue en fonte.

Quand la roue est coulée en coquille, le pourtour se refroidissant rapidement par le contact des parois métalliques du moule, subit une espèce de trempe et acquiert une dureté qui lui est nécessaire pour résister au frottement sur les rails.

On ménage dans le moyeu des fentes, afin que le retrait des rais et du moyeu, qui sont coulés en sable et se refroidissent plus lentement que le pourtour, puisse s'opérer sans donner lieu à des tensions qui feraient rompre la roue à sa mise en service. On remplit ces fentes avec des cales en fer, et l'on *frette* le moyeu à l'aide de deux cercles posés à chaud. Ces cercles, en se refroidissant, se contractent et exercent sur les secteurs du moyeu un serrage énergique.

La roue américaine en fonte (fig. 386) a été décrite de la manière suivante par le capitaine Galton :

« Les roues en usage sur les chemins américains sont en fonte avec des cercles coulés en coquille; elles ont de $0^m,76^c$ à $0^m,91^c$ de diamètre sans rais.

« Quand elles sont bien faites, ces roues font 96,000 à 129,000 kilomètres, sans que les cercles soient usés, et elles ne sont pas

fragiles. Elles pèsent un peu plus de 227 kilogrammes et coûtent 75 francs pièce.

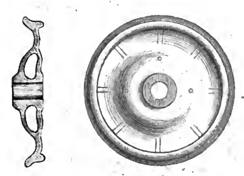


Fig. 386. — Roue américaine.

« Elles font un bon service et n'exigent pas d'entretien.

« On découvre facilement les fissures ou fentes au moyen d'un marteau, le son indique la fissure. Quand une de ces roues se brise d'ailleurs, l'accident ne devient grave que dans le cas de rupture d'un bandage.

« Ces bandages coulés en coquille sont cylindriques. Ils sont percés sous forme de cône pour s'appliquer sur le corps de la roue, qui est aussi en fonte et tourné de manière à présenter le même cône ; on les fixe à l'aide de vis. Ils sont considérés comme préférables à ceux en acier ou en fer, parce qu'ils sont moins sujets à se briser par la gelée. Ils sont difficiles à fabriquer et nécessitent du fer d'une qualité supérieure. Il n'y a que trois usines aux États-Unis qui les fabriquent convenablement. »

On emploie aussi les roues en fonte du système américain sur certains chemins allemands. La note suivante, empruntée au *Journal de l'ingénieur civil*, contient d'intéressants renseignements sur l'emploi de ces roues :

« Les roues en fonte coulées en coquille sont d'un usage fréquent pour le matériel roulant des chemins de fer en Amérique. Depuis nombre d'années quelques chemins de fer allemands en ont fait venir de ce dernier pays, pour les employer à titre d'essai. Les résultats obtenus ont été tellement favorables, qu'on a dû songer à

en fabriquer dans le pays même, quoiqu'on eût peu d'espoir d'arriver au degré de perfection des roues tirées de l'Amérique. Quelques centaines de roues furent fondues en coquille à l'usine domaniale de Kœnigsbrunn, et servent avantageusement depuis trois ans sous les waggons à marchandises des chemins de fer de Wurtemberg. Les chemins de fer de la Suisse ont imité cet exemple et emploient des roues en fonte pour une partie des waggons à marchandises. En Autriche, l'usage s'en est très-répandu, et depuis environ cinq ans on les fabrique dans le pays avec une rare perfection. C'est aux efforts d'un habile maître de forge, M. Ganz, d'Ofen, que l'Autriche doit cette nouvelle industrie. Encouragé par des personnes compétentes, M. Ganz a commencé la fabrication des roues en fonte coulées en coquille, il y a déjà plus de cinq ans, et est arrivé à donner un tel degré de perfection aux produits sortant de ses usines, qu'on les estime autant que les meilleures roues tirées de l'Amérique, qui, aujourd'hui, après onze ou douze ans de service sur les chemins de fer allemands, présentent une usure insignifiante et des surfaces de roulement encore en très-bon état. Ces résultats ont contribué à rendre plus fréquent l'emploi des roues coulées en coquille, et plus de dix mille pièces ont été livrées aux administrations de différentes lignes de fer. Au dire des ingénieurs allemands, ces roues présentent les avantages suivants :

La surface de roulement est pour ainsi dire inusable, et les cercles coulés en coquille ne présentent point de défauts de fonte.

Le prix d'acquisition est bien inférieur à celui des roues ordinaires, les réparations sont nulles, les roues n'ayant pas besoin d'être tournées, puisqu'elles conservent leur forme ronde primitive.

L'action destructive sur les rails de la voie est moindre, les roues ne perdant pas leur forme ronde.

Le peu de poids et la grande résistance forment également des avantages qui les font rechercher.

Les roues coulées en coquille sont en usage sur les chemins de fer de l'État de Vienne à Trieste, ou ceux de la Compagnie autrichienne privilégiée, sur celui de la Theiss et plusieurs autres. La société privilégiée en possède 1,052, sur lesquelles on a dû en réformer 12, principalement pour des défauts qui auraient dû motiver leur rejet

lors de la réception à l'usine. Le chemin de fer de la Theiss possède 3,304 pièces servant sous des waggons de tout genre, et 186 autres servant exclusivement aux waggons de ballastage.

Pendant l'hiver passé, la température est descendue jusqu'à moins de 25 degrés centigrade, et, malgré ce froid intense, on n'a remarqué aucune cassure de roues. Ce résultat favorable, auquel on était loin de s'attendre, a fait qu'on a prescrit l'emploi des roues en fonte pour 182 nouveaux waggons, commandés par la Compagnie de la Theiss.

Le tableau suivant indique les diamètres, les poids et les prix qu'on paye ordinairement les roues prises à l'atelier.

ROUES EN FONTE COULÉES EN COQUILLE.

Diamètres.	Poids.	Prix.
0m,74	380 kilog.	163 fr.
0m,95	280 —	150 —
0m,74	190 —	88 —
0m,71 pour charrues	207. —	115 —
0m,45 à neige	123 —	86 —
0m,63 pour waggons de ballastage	126 —	63 —
0m,47 pour lowris	53 —	38 —

En ajoutant à ces prix ceux de l'alesage, se montant à 5 francs pour les grandes roues et à 3 francs pour les petites, elles sont encore bien bon marché, surtout si elles réunissent les qualités que les ingénieurs autrichiens leur attribuent, et si elles représentent autant de sécurité que celles en fer forgé.

Les roues qui composent en France le matériel définitif sur un chemin à grande vitesse sont, à de rares exceptions près, toutes cerclées en fer.

Tantôt le moyeu, les rais et le cercle sur lequel est posé le bandage en fer, sont en fonte, coulés d'une seule pièce, comme dans la roue fig. 387; tantôt le moyeu seul est en fonte, les rais et le cercle sont en fer (fig. 388).

Ce dernier genre de roues est maintenant exclusivement en usage pour les waggons à voyageurs; le premier est encore employé pour waggons à marchandises sur quelques lignes belges et anglaises.

La différence de prix en faveur des roues à rais en fonte en France nous paraît trop faible pour justifier leur emploi, même

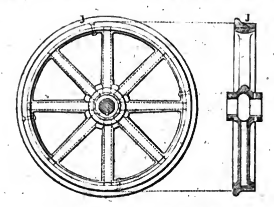


Fig. 387. — Roue en fonte avec bandage en fer.

pour les waggons à marchandises. Leur fragilité expose à des accidents que l'on n'a pas à redouter avec celles à rais en fer. Qu'un

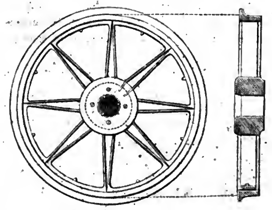


Fig. 388. — Roue en fer avec moyeu en fonte.

déraillement ait lieu, ou même qu'un essieu vienne à se casser, sans qu'il y ait déraillement, les roues à rais en fonte se rompront très-probablement, lorsqu'au contraire celles à rais en fer résisteront. Des vices trop fréquents dans la fonte, une clavette trop

fortement serrée, un cercle posé trop chaud, un bandage posé ou enlevé sans précaution, ou simplement trop usé, sont autant de causes de rupture qui ont pour conséquence la perte de la roue tout entière.

La roue représentée fig. 387 a été employée sur le chemin de Londres à Birmingham pour les waggons à marchandises; les rais en sont ronds et creux. D'autres fois les rais sont plats et à nervures.

Les roues à rais en fer (fig. 388) se composent de bandes de fer plat, recourbées autour de mandrins en fonte, de manière à former des triangles ou des pentagones. Les deux extrémités de ces barres sont noyées dans le moyeu en fonte. Quelquefois on entoure les rais d'un cercle intermédiaire appelé *faux cercle* ou *faux bandage*. Le but du faux cercle est de donner à la roue la même rigidité sur tout son pourtour; on a atteint le même but au chemin de fer de Paris à Strasbourg, en soudant dans les angles de petits coins en fer.

Les roues en fer à moyeu en fonte périssent généralement parce que le moyeu se fend, ou parce que les rayons prennent du jeu dans ce moyeu. On commence maintenant à construire des roues de waggons entièrement en fer, dont le moyeu se compose de secteurs venus de forge au bout des bras (fig. 389), soudés ensemble

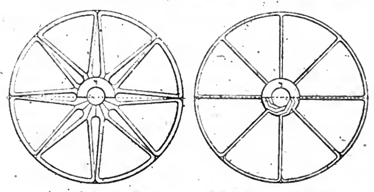


Fig. 389. — Roue en fer. Fig. 390. — Autre roue en fer.

par une compression énergique, agissant tout autour de la roue, de la circonférence vers le centre.

D'autres fois on forme le moyeu en contournant les extrémités des rayons (fig. 390), et on le soude en chassant un mandrin dans le vide du milieu. Dans l'un et dans l'autre cas, on consolide le moyeu en soudant, sur ses deux faces planes, deux rondelles de fer *r* (fig. 389 et 390). Ces roues sont sensiblement plus légères que celles dont les moyeux sont en fonte ; aussi ne coûtent-elles pas beaucoup plus cher.

En Angleterre et en Allemagne, on emploie avec succès des roues composées de secteurs en bois (fig. 391), emmanchés sur un moyeu

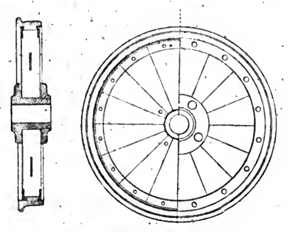


Fig. 391. — Roue en fer, fonte et bois.

en fonte, et formant un disque plein. Le bandage en fer est posé à chaud sur ces roues, et, en se refroidissant, exerce sur les secteurs un serrage énergique qui consolide le tout. Il paraît que les roues en bois sont favorables à la conservation des bandages.

En France, on a obtenu de très-bons résultats de roues en fer, sur lesquelles le bandage était fixé par l'intermédiaire de cales en bois jointives chassées avec force et lardées de broches en fer qui produisaient un serrage énergique. Nous avons représenté dans la figure 392 la coupe d'un calage en bois de ce genre, imaginé par M. Stehelin ; le bandage est muni d'un rebord *r*, sur lequel viennent s'appuyer la jante *j* de la

Fig. 392. Mode de calage.

roue et le cercle *c* en fer, dont la section est suffisamment indiquée par la figure. Les cales en bois étant chassées entre le bandage et la jante, elles se fendent sur le cercle *c*; on finit de leur donner du serrage en les lardant de broches *b* en fer.

Bandages. — Le bandage est le cercle à rebord sur lequel s'opère le roulement. Il est posé à chaud sur la roue, de manière à en serrer fortement le pourtour en se refroidissant; puis il est fixé au moyen de rivets, de boulons ou de vis qui ne traversent pas toute l'épaisseur du bandage et dont la tête se trouve à l'intérieur de la couronne formée par les rais. C'est la première de ces dispositions qui a prévalu presque exclusivement pour les roues de waggons; la seconde est employée assez fréquemment pour les roues de locomotives; la troisième est à peu près complètement abandonnée, parce qu'elle ne présente pas toute la sécurité désirable.

La surface extérieure du bandage est dressée autour; elle se compose du *bourrelet b* (fig. 393), raccordé par un congé avec une surface conique dont l'inclinaison est ordinairement de $\frac{1}{20}$[1]. Généralement cette partie du bandage est tournée suivant une seconde surface conique dont l'inclinaison est de $\frac{3}{20}$.

[1] Cette conicité du bandage est nécessaire. Dans les courbes, le waggon étant poussé par la force centrifuge contre la file de rails extérieure, le point de contact des roues qui reposent sur cette file de rails se rapproche du bourrelet, tandis que celui des roues qui portent sur la file de rails intérieure s'en éloigne. Il en résulte que les premières, pour chaque tour, font plus de chemin que les dernières, ce qui doit avoir lieu pour qu'il n'y ait pas un glissement provenant de la fixité des roues sur les essieux.

En ligne droite, les deux files de rails sont d'égale longueur. Il faut donc, pour que les deux roues jumelles roulent et ne glissent pas, que le contact des roues avec les rails ait lieu suivant des cercles du même diamètre. Si, par une cause quelconque, le waggon s'écarte de cette position d'équilibre, le bourrelet de l'une des roues se rapproche du rail et l'autre s'en écarte. Les roues faisant alors des chemins différents, le waggon tourne sur lui-même de façon que le bourrelet de la roue qui s'était rapproché du rail s'en éloigne tandis que celui de la roue jumelle s'en rapproche. Le waggon revient ainsi à sa position d'équilibre; mais, comme il y revient avec une certaine vitesse acquise, il la dépasse et un instant après tourne en sens contraire. Ce mouvement de rotation combiné avec le mouvement de translation produit le mouvement sinueux auquel on a donné le nom de mouvement de lacet. Le mouvement de lacet fatigue les voyageurs et le matériel, mais il empêche le frottement latéral des roues contre les rails, frottement qui aurait lieu avec des roues cylindriques et dont les effets seraient encore plus fâcheux. Différentes causes contribuent à l'augmenter, comme, par exemple, l'usure inégale des roues, la tension inégale des ressorts, les différences dans la forme ou la pose des rails, etc.

Cette disposition diminue un peu le poids du bandage sans en altérer la solidité ; elle est du reste avantageuse, parce que les bandages, en s'usant, se creusent en forme de gorge. Les oscillations de la roue sur la voie refoulent alors le métal du côté extérieur, et le bandage cesse d'être conique. Le chanfrein incliné aux $\frac{3}{20}$ a pour effet de retarder ce refoulement de la matière qui compose le bandage.

Fig. 393. — Bandage.

En Amérique, où les courbes de chemins de fer ont souvent de très-petits rayons, on a porté la conicité des roues jusqu'à $\frac{1}{7}$.

Essieux. — La figure 394 représente un essieu de waggon du modèle le plus généralement adopté aujourd'hui.

La partie *ab*, tournée avec soin et polie dans toute sa longueur, est la *fusée* sur laquelle repose la boîte à graisse ; le moyeu de la roue, alesé exactement au diamètre de la partie tournée *bc*, est emmanché sur cette partie au moyen d'une presse hydraulique. Une clavette en acier, logée à moitié dans l'essieu, à moitié dans le moyeu, empêche la roue de tourner sur l'essieu. Entre les points *cc*, l'essieu se compose de deux cônes tronqués dont les deux petites bases sont raccordées par un cylindre.

Ces différentes surfaces de l'essieu sont, ainsi qu'on le voit, raccordées par des congés. Il est important d'éviter toute entaille à angle vif.

Fig. 394. — Essieu de waggon.

La rupture d'un essieu de waggon n'occasionne presque jamais d'accident. La caisse, lors même qu'elle n'est plus soutenue par les quatre roues, étant pour ainsi dire suspendue par les chaînes d'attelage aux voitures voisines, est maintenue dans la voie et guidée par ces voitures. Des centaines d'essieux se sont cassés sur le chemin de Strasbourg à Bâle et sur d'autres chemins, sans que les voyageurs aient été exposés au moindre danger. Mais, si la déplorable catastrophe du 8 mai 1842 a offert un épouvantable exemple des conséquences

du bris d'un essieu de locomotive dans certaines circonstances extraordinaires, le grave accident survenu, il y a quelques années, sur le chemin d'Anvers a prouvé que celles du bris d'un essieu de waggon pouvaient aussi, par suite de la réunion fortuite de certaines circonstances, devenir terribles.

Il ne sera donc pas hors de propos de résumer ici quelques observations importantes, faites par M. Polonceau, au chemin de Bâle à Strasbourg, sur ce sujet.

Un grand nombre d'essieux devant être remplacés par des essieux d'un nouveau modèle, on les brisa à coups de mouton.

La rupture eut lieu constamment contre la face intérieure du moyeu. La cassure était sensiblement plane, soit que l'essieu se fût cassé en service, soit qu'on l'eût brisé à coups de mouton. Le grain, très-fin comme celui de l'acier dans les zones AB (fig, 595), allait en grossissant vers la zone C, puis devenait absolument semblable à celui du corps de l'essieu où le fer avait conservé sa texture primitive. La couleur brune de rouille dans la zone A, comme celle de très-vieilles cassures, devenait graduellement moins foncée vers la zone B, jusqu'à ce qu'elle disparût entièrement dans la zone C. Les cercles enfin qui enveloppent les zones B et C n'étaient pas concentriques, mais tous tangents en D au fond de l'entaille où se trouvait la clavette.

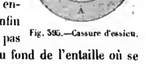


Fig. 595.—Cassure d'essieu.

Ces faits ont été observés sur un très-grand nombre d'essieux qui avaient fait un long service, fabriqués d'ailleurs avec des qualités de fer très-différentes : du fer très-nerveux et bien homogène, des fers fabriqués avec des rognures de tôle à texture lamellaire, et du fer cassant à gros grains.

L'oxydation de la cassure dénote assez la préexistence d'une fente qui s'est successivement agrandie jusqu'au moment de la rupture. Que ce genre d'altération tienne en partie à l'ancien usage de couper les essieux à angle vif contre le moyeu, cela paraît incontestable ; toujours est-il qu'on ne l'évite pas complétement en substituant un congé à cet angle. Des essieux qui, dans l'origine,

avaient été exécutés au chemin de Bâle à Strasbourg avec des congés aux angles, ont été cassés au mouton après deux ou trois ans d'usage. Ils se sont brisés comme ceux qui présentaient des angles vifs à l'extrémité du congé, et la cassure avait un aspect analogue à celui des essieux du premier modèle. Quelques-uns, étant d'excellent fer, ont supporté, avant de se rompre, jusqu'à quatre coups d'un mouton de 600 kilogrammes, qu'on laissait tomber d'une hauteur de 5 mètres, tantôt sur un côté, tantôt sur l'autre.

Un grand nombre d'ingénieurs attribuent les ruptures dont nous venons de parler à un changement de texture du fer, qui, de nerveux, passerait à l'état de fer à grains ou à facettes, par l'effet de vibrations répétées. Cette opinion, assez généralement admise autrefois, est combattue aujourd'hui par la plupart des personnes les plus compétentes.

Il est reconnu que le changement d'état moléculaire du fer dont nous venons de parler a lieu quand ce fer est soumis à une température élevée pendant un temps suffisamment prolongé, ou à un écrouissage à froid au marteau, ou encore à un taraudage, opérations dans lesquelles le fer subit une déformation violente et persistante. Mais les flexions que prend un essieu pendant sa marche sont tellement faibles, qu'il est difficile d'admettre que leur effet soit le même que celui du martelage ou du taraudage.

Les ruptures des essieux s'expliquent du reste d'une manière fort simple, sans qu'il soit nécessaire d'admettre une modification dans la texture du fer.

On recherche généralement, dans la construction des essieux, les qualités de fer connues sous le nom de fer *fort* et *dur*. Ce fer résiste à des efforts très-considérables, mais il ne s'allonge que d'une faible quantité avant de se rompre. Or, toutes les fois qu'une barre de fer fléchit, une partie de ses fibres s'allongent; les flexions que subissent les essieux pendant la marche, et qui sont dues au poids qui repose sur leurs fusées, et surtout aux chocs qu'éprouvent les roues au passage des joints et quand leurs rebords viennent à rencontrer les rails, se traduisent donc en un nombre infini d'allongements qui, s'ils sont suffisamment grands, provoquent la rupture des fibres extérieures, et, de proche en proche, de toute la

section de l'essieu. D'après cela, c'est en limitant l'allongement que l'on éviterait les ruptures d'essieux ; en d'autres termes, il faudrait augmenter leur section, afin de rendre leur flexion aussi faible que possible.

En effet, sur les lignes nouvellement construites, on a donné aux essieux des dimensions beaucoup plus fortes que celles des essieux du chemin de Strasbourg à Bâle, et, par ce moyen, les ruptures ont été évitées complétement.

Les boites à graisse reposent sur les essieux, tantôt entre les roues, auquel cas l'essieu se termine à ras du moyeu ; tantôt en dehors des roues (fig. 396) : l'essieu traverse alors le moyeu et se prolonge au dehors.

Lorsque les boites portent en dedans des roues, on est obligé de

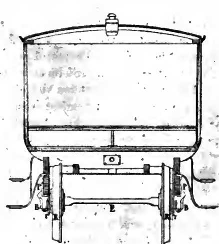


Fig. 396. — Position des boites à graisse.

donner aux fusées une grande épaisseur, car l'essieu, aux points où elles se trouvent alors placées, doit résister, non-seulement à la pression de la charge qu'il supporte, mais encore à toutes les pressions latérales du bourrelet des roues contre les rails, lesquelles tendent à les renverser en brisant les essieux justement aux points où se trouvent les fusées.

Quand on place au contraire les boites en dehors (comme

fig. 396), on peut diminuer le diamètre de la fusée, et l'on réduit ainsi, comme l'enseigne l'étude de la mécanique, le *travail du frottement*, qui constitue la partie la plus importante de la résistance des waggons. On rend aussi le graissage et la visite des boîtes plus facile.

Les fusées intérieures ne sont plus guère usitées que pour les waggons de terrassement. Nous traiterons du reste la question des fusées extérieures et intérieures avec plus de développements, en nous occupant des locomotives à châssis extérieurs et intérieurs.

On ne saurait attacher une trop grande importance à une bonne disposition des fusées et des boîtes à graisse.

Dans un waggon qui roule sur un chemin de fer bien entretenu, la principale résistance ne s'exerce pas au pourtour de la roue, comme dans les voitures ordinaires, mais bien tangentiellement à la fusée.

L'*intensité* de ce *frottement* est proportionnelle à la pression supportée par la fusée; le poli et la nature des surfaces en contact et la matière grasse interposée, ainsi que le plus ou moins de soins apportés dans le montage de l'appareil, influent beaucoup sur cette résistance. Il dépend même jusqu'à un certain point de l'étendue de la surface frottante et augmente quand, cette surface diminuant la pression, devient assez grande pour que la graisse soit écrasée [1].

Caisses. — La forme des caisses, avons-nous dit, varie suivant l'usage auquel on destine le waggon. Nous allons passer rapidement en revue les principales dispositions que présentent ces appareils.

On distingue :

1° Les waggons de terrassement;

2° Les waggons d'ensablement;

3° Les waggons pour le transport de la houille;

4° Les waggons pour le transport du coke;

5° Les waggons pour le transport du charbon de bois;

6° Les waggons pour le transport des marchandises;

[1] Voir plus loin au chapitre intitulé : *Théorie de la résistance au mouvement des waggons.*

7° Les waggons pour le transport des voitures de rouliers et des voitures ordinaires montées sur leurs roues;

8° Les waggons pour le transport des caisses de diligences;

9° Les waggons pour le transport des bestiaux;

10° Les waggons pour le transport des moutons;

11° Les waggons pour le transport du lait;

12° Les waggons pour le transport des chevaux;

13° Les waggons pour le transport des bagages;

14° Les waggons pour le transport des grandes pièces de bois;

15° Les waggons pour le transport des dépêches;

16° Les waggons pour le transport des voyageurs.

Il convient de simplifier le matériel des chemins de fer en réduisant autant que possible le nombre des différentes espèces de waggons. Au chemin de l'Est, dans le principe, ce nombre était considérable. Aujourd'hui, abstraction faite d'une certaine quantité d'anciens waggons dont le modèle est abandonné, on n'emploie plus pour l'exploitation que les suivants :

Les waggons avec grandes plates-formes à rebords servant au transport des métaux, des pierres, des bois de construction et de chauffage, des cotons en balles, etc.;

Les waggons couverts portant les bois de chauffage, les farines, les graines et toute espèce de marchandises qui ne pourraient pas être chargées commodément sur les autres. Ces waggons servent aussi au transport des bestiaux;

Les waggons à vigie et à frein servant de fourgons;

Les waggons à caisse construits pour le transport de la houille, et pouvant servir à d'autres transports;

Les waggons à trappes spécialement destinés au transport des houilles;

Les waggons à caisses mobiles pour le transport de la houille et du coke;

Les waggons également à caisses mobiles pour le transport du charbon de bois;

Les waggons pour le transport des moutons;

Les waggons pour le transport du lait;

Les waggons pour le transport des chevaux;

Les waggons pour le transport des bagages;
Les waggons pour le transport des bois;
Les waggons pour le transport des dépêches;
Les waggons pour le transport des voyageurs.

Waggons de terrassement. — Nous avons déjà décrit les waggons de terrassement, p. 363 et 364 du premier volume; nous ajouterons quelques lignes à cette description.

Le mode de construction préférable pour les waggons de terrassement est le plus simple, ou, s'il nous est permis d'employer cette expression, le plus *rustique*. Si les waggons de terrassement étaient d'un mode de construction trop délicat, non-seulement le prix en serait élevé, mais encore l'entretien sur les chantiers en deviendrait difficile et coûteux. C'est au charpentier plutôt qu'au carrossier qu'on doit confier l'exécution de ce genre de véhicules.

La capacité des waggons de terrassement dépend de l'importance du travail auquel ils sont destinés et de la distance qu'ils doivent parcourir. Il faut les établir plus ou moins solidement, selon le temps pendant lequel on présume en faire usage et les circonstances dans lesquelles on se propose de les employer.

Les waggons conduits par des chevaux à de petites vitesses doivent être plus légers que ceux que l'on mène à grande vitesse avec des machines locomotives. Il serait au contraire peu prudent de se servir de waggons légers et faibles sur des plans inclinés, où ils sont exposés à des chocs violents, ou dans les tranchées profondes, quand on peut se trouver obligé de jeter les déblais dans le waggon d'une assez grande hauteur.

La figure 16, page 363 du premier volume, représente l'ancien waggon de terrassement anglais, qui a été employé sur les chemins de Saint-Germain et de Versailles; la figure 17, un waggon plus simple de construction, dont la caisse bascule sur l'essieu de devant et dont on fait usage aujourd'hui sur la plupart des chantiers de terrassement.

Dans les waggons du premier modèle, la porte, au moment où la caisse basculait, se développait de manière à se trouver dans le même plan que le fond, en sorte que les terres étaient projetées à une certaine distance. L'emploi de ces portes nécessitant des fer-

rures assez coûteuses, on les a remplacées par une simple paroi mobile qui se déplace comme la porte d'un tombereau.

Dans les anciens waggons de terrassement, la caisse portait sur l'essieu en dehors des roues; dans les nouveaux, elle porte en dedans; les roues de ces anciens waggons n'avaient que 30 centimètres de diamètre, celles des waggons actuels ont au moins 75 centimètres.

Les caisses des anciens waggons de terrassement ne portaient que $1^m,50$ comptés au déblai. Aujourd'hui, sur les chantiers de terrassement des chemins de l'Est, on se sert de trois espèces de waggons de terrassement : le waggon anglais petit modèle (fig. 397) ne porte que $1^m,50$ ou $1^m,75$ de terre ordinaire mesurée au déblai; le même waggon grand modèle porte $3^m,10$. Le waggon belge contient $3^m,30$. La caisse de ce dernier ne tourne pas sur un des essieux, comme dans les waggons anglais, mais sur un tourillon en bois, et le waggon est disposé de telle façon, qu'on peut à volonté le faire basculer sur le devant ou sur le côté.

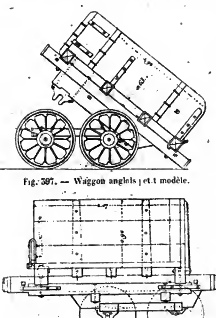


Fig. 397. — Waggon anglais petit modèle.

Fig. 398. — Waggon anglais grand modèle.

Le waggon anglais du grand modèle (fig. 398) coûte 700 francs, le waggon belge 900 francs.

Nous avons parlé dans le premier volume, page 367, de waggonnets dont l'usage, depuis quelques années, s'est beaucoup répandu.

Waggons à ballast. — Dans les waggons pour l'entretien de la

chaussée, le sable est simplement chargé à la pelle dans une caisse rectangulaire à parois de $0^m,15$ à $0^m,30$ de hauteur. Tantôt ces parois sont fixes, tantôt elles peuvent se rabattre autour de charnières.

Le fond de la caisse est formé de traverses boulonnées sur les brancards du châssis et recouvertes de planches placées en long. On décharge le sable à la pelle; quelquefois cependant on ménage dans les planches une ou deux ouvertures fermées au moyen de trappes et par lesquelles le sable tombe entre les rails.

Waggons à houille. — On transporte dans ces mêmes waggons la houille en gros morceaux. On les charge alors avec soin à la main et on les décharge de même. On y charge aussi certaines espèces de marchandises.

Pour la houille menue, on s'est servi de caisses pyramidales (fig. 399). Ces caisses se vident au moyen de trappes qui s'ouvrent

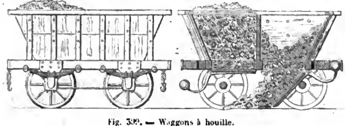


Fig. 399. — Waggons à houille.

dans le fond entre les deux essieux. Quelquefois on dispose ces caisses de manière qu'elles puissent être enlevées facilement de dessus le châssis et chargées sur un train ordinaire.

Aujourd'hui on abandonne les waggons à caisse trapézoïdale, parce qu'on n'y peut charger au retour qu'un très-petit nombre d'objets. On fait usage plus volontiers de waggons à caisses rectangulaires.

Waggons à coke. — M. de Wendel emploie pour le transport du coke des caisses spéciales qu'il a fait construire dans les ateliers de la Compagnie. Leur capacité est de 5 mètres cubes; leur poids, de 400 kilogr. Elles contiennent environ 2,000 kilogr. de coke de Prusse. On en charge 3 par waggon, leur longueur placée trans-

versalement à la boie. Les caisses sont simplement posées sur le waggon.

Dans l'usine à coke de M. de Wendel, située près de Saarbruck, le chargement est très-simple : le quai étant assez élevé, on peut remplir les caisses en les laissant sur le waggon.

Quant au déchargement, il se fait de la manière suivante : on a au magasin de coke une grue qui saisit les tourillons placés de chaque côté de la caisse ; celle-ci s'élève, guidée dans son mouvement par deux tringles verticales, dont chacune est engagée entre deux taquets. Ces taquets peuvent être relevés à volonté; lorsqu'on veut opérer le déversement à droite par exemple, on soulève les taquets de gauche : la caisse ne peut plus alors basculer qu'à droite; en la poussant d'une manière quelconque dans ce sens, on opère le déversement.

Les caisses portent aussi quelquefois de la houille et du minerai de fer ; celles-ci, pour contenir le même poids, n'ont plus alors que la moitié de la hauteur des précédentes. Cela explique pourquoi les tourillons ont été placés si bas. La caisse étant pleine, pour pouvoir basculer facilement, il faut que le centre de gravité soit très-peu au-dessus de l'axe de suspension, qui serait alors près du milieu. Mais, en adoptant cette disposition, on aurait rendu le basculement pratiquement impossible; dans le cas d'une charge de houille l'axe est plus bas que le quart de la hauteur.

Ce waggon coûte environ 300 francs, non compris les roues, essieux et boîtes à graisse. On trouvera aux documents le détail des frais d'établissement.

Waggons pour le charbon de bois. — Quelques usines ont construit des caisses particulières pour le transport du charbon de bois sur les chemins de fer de l'Est. Leur capacité est de 5 mètres cubes; elles contiennent 1,000 kilog. de charbon de bois. Le poids de la caisse vide est de 325 kilog. Sur un waggon, on met 4 caisses, 2 sur la largeur.

La caisse ou banne, sortant vide de l'usine et démontée, est portée en waggon jusqu'à la station la plus voisine de la forêt. Là, elle est enlevée des waggons, et placée sur une voiture à deux roues. La banne doit donc avoir des dimensions assez restreintes,



pour ne pas exiger de trop grosses voitures. Le charbon de bois est chargé en forêt, sur le lieu de la carbonisation; à son retour, la caisse pleine est replacée sur un waggon à l'aide d'une grue.

Le fond et les parois de la banne sont recouverts soit en clayonnage, soit avec de la volige de 12 à 15 millimètres d'épaisseur.

Le clayonnage est plus économique, mais beaucoup moins solide.

Ce waggon coûte environ 100 francs, non compris les roues, essieux et boîtes à graisse. (*Voir* le détail aux documents.)

Les waggons que nous venons de décrire, ou, au moins, des waggons analogues de construction, pourraient être employés sans doute avec avantage, toutes les fois qu'il peut être nécessaire de transborder une marchandise d'espèce quelconque du waggon sur un camion ou sur toute autre voiture propre au service des routes ordinaires.

Les waggons à houille et en général les waggons à marchandises ne portaient anciennement que cinq tonnes. On en a, depuis quelques années, doublé la charge, et de cette manière on a réduit considérablement le rapport du poids mort au poids utile.

Ainsi ce rapport, qui, dans les anciens waggons, était de $\frac{4500}{5000} = 0{,}90$, n'est plus, dans les nouveaux, que de $\frac{4730}{10000} = 0{,}47$.

Maringottes. — On transporte les voitures de rouliers sur de grandes plates-formes appelées *maringottes*. On charge ces voitures au moyen d'une grue après en avoir retiré les roues, et on les fixe avec des cordes qui passent dans des anneaux placés aux extrémités des traverses qui composent la plate-forme. Souvent aussi on les bâche.

Waggons à chaises de poste. — Les chaises de poste sont transportées sur leurs roues et maintenues au moyen de cales et de courroies qui retiennent les roues. Les plates-formes qui sont destinées à ce genre de transport sont ordinairement munies d'un rebord qui, pour les deux petits côtés, peut se rabattre sur le quai de chargement et de déchargement.

Waggons pour le transport des caisses de diligence. — Les caisses de diligences sont enlevées de leurs trains au moyen d'une grue fort ingénieuse de l'invention de M. Arnoux et placées sur un waggon plate-forme (fig. 400) d'une construction toute particulière.

Aujourd'hui que les chemins de fer ont pris une grande extension, le transport des caisses de diligences a perdu beaucoup de son im-

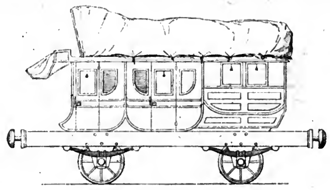


Fig. 400. — Waggon plate-forme pour diligence.

portance. On y a même, sur la plupart des grandes lignes, entièrement renoncé.

Waggons à marchandises. — Les waggons employés pour le transport des marchandises sont généralement de deux espèces : ceux couverts avec panneaux mobiles dans le haut et fermés par des portes à charnières servent, suivant le besoin, aux transports des chevaux ou des bestiaux; les autres, appelés waggons plats, ont des deux côtés deux bords fixes peu saillants. Les extrémités seules se rabattent suivant les exigences du service. Ces waggons sont habituellement recouverts de bâches suivant la nature des marchandises qu'ils transportent.

Bâches. — Souvent on munit les rebords des caisses d'anneaux et de crochets qui servent à fixer les bâches au moyen desquelles on préserve les marchandises de l'humidité et des flammèches des machines;

Aux chemins de fer de l'Est, on emploie simultanément des bâches en toile et des bâches en bourre de soie. Les unes et les autres sont recouvertes d'une préparation qui est connue sous le nom d'enduit Gagin et dont la base est le caoutchouc.

Les bâches en toile, quand la toile est bien fabriquée, sont moins volumineuses et moins lourdes que celles en bourre de soie. Ces

dernières, plus souples avant d'être enduites, le deviennent moins après l'opération, ce qui paraît tenir à ce qu'elles absorbent une plus grande quantité d'enduit. Les bâches en toile sembleraient donc préférables.

Les opinions à cet égard sont cependant encore assez partagées. C'est une dépense importante de l'exploitation d'un chemin de fer que celle des bâches; on ne saurait donc apporter trop de soins dans le choix qu'on en fait.

Waggons à bestiaux. — Les bestiaux sont transportés dans de grandes caisses à panneaux percés d'ouvertures et fermées par de petites persiennes. Ces caisses sont recouvertes d'une espèce de toit et munies de portes qui s'ouvrent latéralement.

Le transport des moutons se fait dans de grandes cages à deux étages; les deux planchers doivent être doublés de feuilles de zinc ou de plomb formant gouttières pour rejeter les urines au dehors. Cette garniture doit être placée sous les planchers; sans cela, les moutons glissent sur le métal, tombent les uns sur les autres et se blessent ou s'étouffent même quelquefois.

Waggons à lait. — Le lait est renfermé dans des boîtes cylindriques en fer-blanc de la contenance de vingt litres; on charge environ deux cents de ces boîtes dans une caisse à claire-voie et à deux étages, dont le plancher intermédiaire est composé de grillages en bois mobiles.

Waggons à chevaux. — Généralement les waggons à chevaux, dits waggons-*écuries*, se composent d'une caisse couverte divisée en trois compartiments par deux cloisons longitudinales. Une traverse mobile rembourrée s'appuie contre le poitrail du cheval et l'empêche de se mouvoir; les parois extrêmes sont formées de portes spéciales pour chaque compartiment. Tantôt ces portes sont à deux battants, dont l'un se rabat sur le quai et sert de pont au cheval pour entrer ou pour sortir, et dont l'autre se relève en forme de toit; tantôt ces portes ont leurs charnières verticales.

Quelquefois aussi on transporte les chevaux dans de petites cages que l'on pose sur un waggon à plate-forme, comme cela se fait sur les bateaux.

Les boxes à roulettes sont depuis longtemps abandonnées.

Les chevaux sont généralement placés dans des stalles. Les stalles sont disposées de manière que les chevaux se trouvent dans le sens même de la marche du train ou dans le sens perpendiculaire. Il vaut mieux qu'ils soient perpendiculaires. On a constaté, au chemin de fer d'Orléans, qu'ils éprouvaient ainsi beaucoup moins de fatigue.

Les waggons à stalles perpendiculaires à l'axe de la voie, avec une caisse de 6 mètres de longueur, contiennent ordinairement six chevaux et un palefrenier. Trois portes sont ménagées sur chacune de leurs deux faces : l'une, au milieu de leur longueur, donne accès dans une stalle à cloisons fixes ; les deux autres partagent par moitié l'espace compris entre l'extrémité du waggon et la stalle du milieu.

Ces dernières portes s'ouvrent sur une stalle dont les parois mobiles, rapprochées alternativement, permettent l'entrée ou la sortie dans chacune des stalles en face desquelles il n'existe pas de portes, et qui, remises en place, forment parois pour la stalle qui se trouve en face de la porte, stalle dans laquelle on fait entrer le dernier cheval à charger, et que l'on vide en premier lieu au moment du déchargement.

Toutes les cloisons, fixes ou mobiles, sont échancrées du côté de la tête des chevaux, pour permettre au palefrenier de se rendre d'un bout à l'autre du waggon, d'attacher, de détacher un cheval, de remplir son râtelier, etc.

C'est une condition regardée comme essentielle; car, outre ces divers petits soins, il suffit souvent de la présence d'un homme pour calmer un cheval qui se défend.

Les waggons-écuries des chemins de fer de l'Est ne contiennent que trois chevaux. L'emploi de ces waggons est avantageux lorsque le nombre des chevaux à transporter à la fois reste souvent au-dessous de cinq ou de six.

On transporte quelquefois, dans les moments de presse, les chevaux dans les waggons à bestiaux. Dans ce cas, le service se fait évidemment dans de mauvaises conditions.

Les personnes qui désireront plus de détails sur la construction des waggons-écuries les trouveront dans un article inséré dans les *Mémoires de la Société des ingénieurs civils de France*, par M. de

Bonnefoy, ingénieur directeur de la carrosserie du chemin de fer d'Orléans.

Waggons à bagages. — Les waggons à bagages (fig. 401) sont couverts et fermés de tous côtés ; leurs portes s'ouvrent en roulant

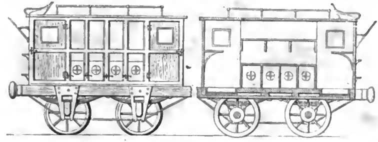


Fig 401. — Waggons à bagages.

horizontalement sur une tringle de fer plat et sont guidées à leur partie supérieure par une seconde tringle.

Quand ils sont destinés aux trains de voyageurs, ils ont l'appareil complet de choc et de traction ; pour les trains de marchandises, on supprime quelquefois les ressorts de choc.

A l'intérieur, on dispose des tablettes et une petite armoire pour les objets précieux. Sous les tablettes, on place des cages pour les chiens ; ces cages sont munies de portes en tôle qui s'ouvrent à l'extérieur.

Les waggons à bagages sont toujours munis de freins.

Waggons pour le transport des grandes pièces de bois. — On se sert sur plusieurs chemins de fer, pour le transport des bois de grandes dimensions, de waggons plates-formes montés sur huit roues. Les deux trains se meuvent indépendamment l'un de l'autre, de manière à permettre le passage dans les courbes et l'entrée dans les gares au moyen de plaques tournantes. D'autres fois les pièces de bois reposent sur deux trains à plate-forme séparés.

Waggons de la poste. — Les waggons de la poste pour le transport des dépêches sont des espèces de bureaux ambulants chauffés et éclairés et dans lesquels s'opère le triage des lettres.

Waggons à voyageurs. — Les caisses des voitures pour les voya-

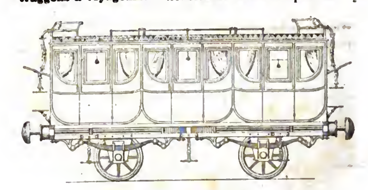


Fig. 402. — Voiture de 1re classe.

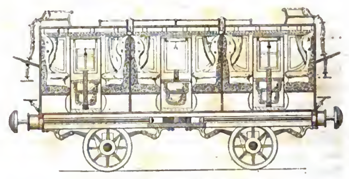


Fig. 403. — Coupe d'une voiture de 1re classe.

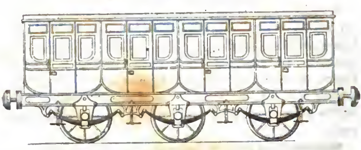


Fig. 404. — Voiture de 1re classe à quatre compartiments.

geurs diffèrent peu de celles des anciennes diligences.

Les voitures de 1re classe se composent de trois caisses de berline ordinaire (fig. 402, 403) ou de deux caisses de berline et de deux caisses de coupé (fig. 404).

Les voitures de 2e classe (fig. 405) offrent l'assemblage de trois

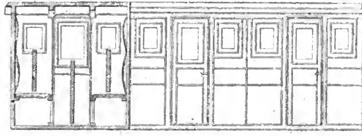


Fig. 405. — Voiture de 2e classe.

ou quatre caisses de voitures ordinaires dont les parois seraient plates au lieu d'être bombées.

Les voitures de 3e classe étaient anciennement découvertes; maintenant on les couvre sur toutes les grandes lignes.

On établit souvent sur les chemins de fer des voitures composées d'un compartiment de voiture de 1re classe compris entre deux compartiments de 2e classe, ou de deux coupés comprenant deux compartiments de 2e classe. Ces voitures sont avantageuses, parce qu'elles dispensent d'ajouter au train une voiture complète pour un seul voyageur de 1re classe qui se présente.

Aux chemins de l'Est, on emploie des voitures de 1re classe composées de deux caisses ordinaires et d'une caisse de coupé seulement; cette dernière caisse est très-longue et peut au besoin permettre aux voyageurs de se coucher. La caisse de coupé ne contenant que trois voyageurs et remplaçant cependant une caisse ordinaire qui en contient huit, l'emploi de ces voitures est très-onéreux pour l'exploitation.

Les voitures de voyageurs des chemins américains (dites *cars*) ne sont que d'une seule classe. Les gens de couleur ne sont placés que dans les waggons à bagages. Les voitures sont d'une grande longueur; elles reposent sur deux trains de quatre roues chacun, et sont élargies au-dessus des roues. Dans la chambre, si on peut l'appeler

ainsi, se trouvent ordinairement vingt-quatre petits bancs à deux places chacun, rangés de chaque côté du waggon de manière à laisser au milieu un espace vide assez large pour pouvoir circuler. Les bancs, en général recouverts en crin noir, sont à dossier mobile. pour que les voyageurs puissent à leur gré se placer dans le sens où l'on chemine ou au rebours. Ces grandes voitures marchent dans les deux directions sans pouvoir jamais être retournées aux stations. Au milieu de la chambre est un poêle en fonte, en forme de petite colonne, toujours chauffé dans la mauvaise saison et autour duquel viennent se grouper les voyageurs. Aux extrémités de la voiture sont de petites plates-formes servant d'entrée et de sortie, abritées par un auvent et terminées par une barrière en fer. Pendant le trajet, les voyageurs y peuvent fumer, mais la place n'est pas assez large pour qu'on puisse s'y asseoir. Quand le convoi se compose de plusieurs voitures, on peut circuler de l'une à l'autre, en enjambant l'espace qui sépare les plates-formes. Chaque train transporte avec lui un buffet ambulant pour l'usage des voyageurs. Les dames, sur ces chemins, ont pour leur usage particulier, à l'extrémité des voitures qu'elles occupent, un cabinet avec ses accessoires.

D'autres voitures plus anciennes n'ont qu'une chambre où l'on est assis en carré, le dos appuyé contre les quatre parois. Tous les pieds se trouvent réunis dans le milieu et reposent sur un poêle chauffé en dessous, à l'une des extrémités. Ces voitures sont très-incommodes; on y souffre beaucoup de la chaleur.

Nous empruntons de nouveaux détails sur le matériel américain au rapport du capitaine Douglas Galton :

« Les caisses des voitures ont 9,12 et jusqu'à 18 mètres de longueur. Il faut, dans ce dernier cas, que les longerons portent sur une espèce de châssis rigide (fig. 406 et 407). Sur les chemins où la voie est de $1^m,40$ la largeur des caisses est de $2^m,70$, et sur le New-York et Erié railway de $3^m,00$; la hauteur de $1^m,80$ à $2^m,25$.

« On peut passer d'un waggon sur un autre; quelquefois, cependant, la porte du waggon est fermée à clef.

« On se sert d'une espèce de waggon spécial pour les émigrants.

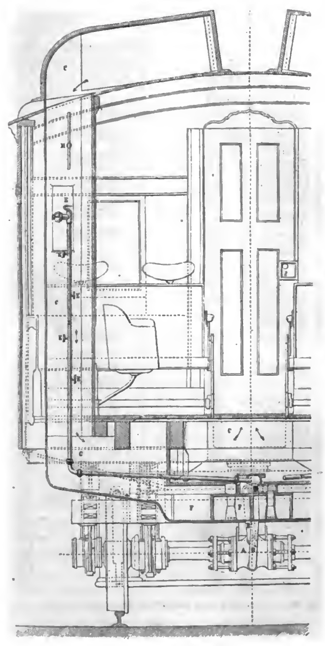


Fig. 406. — Coupe en travers d'un waggon américain.

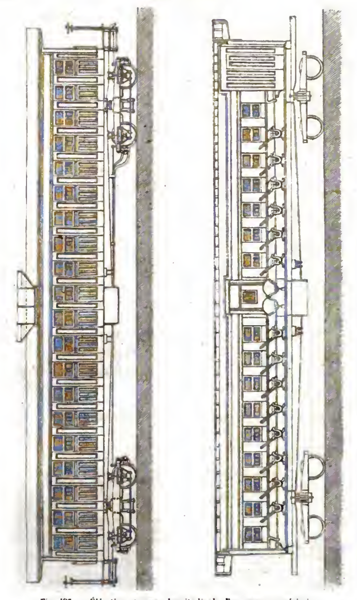


Fig. 407. — Élévation et coupe longitudinale d'un waggon américain.

« Il existe une chambre spéciale pour les dames, avec tous les accessoires.

« Sur certains chemins où les voyages sont longs, tels que l'Illinois central, entre Cairo et Dubugne, il y a des compartiments à peu près de mêmes dimensions que les compartiments de nos voitures de 1re classe, dont les siéges sont séparés de façon que le dossier puisse se renverser; ces siéges se convertissent ainsi en véritables sofas, sur lesquels on peut se coucher. On paye un prix exceptionnel pour l'usage de ces sofas.

« La poussière occasionnée par la nature friable de la chaussée est fort désagréable quand on voyage en été.

« On a essayé différents moyens de s'en préserver.

« Sur quelques chemins les fenêtres s'ouvrent obliquement, de manière à rejeter la poussière.

« Sur le Michigan central railway, un écran de toile est placé sous la poutre inférieure du châssis et descend en dehors des roues jusqu'à une distance de 5 centimètres environ du rail. Cet écran se termine par un châssis derrière le waggon, châssis qui vient s'appuyer contre un châssis semblable que porte le waggon suivant, en sorte qu'on a formé ainsi, d'une extrémité à l'autre du train, une espèce de tunnel dans lequel la poussière est contenue, puisqu'elle ne peut s'échapper par les extrémités. Ce moyen est assez efficace, mais on prétend que les essieux dans les waggons munis de cet appareil chauffent beaucoup.

« Sur le New-York et Erié railway, on emploie le procédé suivant pour ventiler le waggon et le préserver de la poussière :

« Un tuyau débouche en haut du waggon du côté vers lequel marche le convoi; le courant d'air passant dans ce tuyau vient se purifier dans un réservoir d'eau placé sous la caisse. Une pompe mise en mouvement par les essieux chasse l'eau en filets minces dans ce réservoir. L'air est ainsi dépouillé de poussière.

« En hiver, l'eau est chauffée par un poêle; l'air passe alors par des conduits en dessous du waggon et pénètre dans la caisse. Les fenêtres doivent être fermées hermétiquement. Cet appareil (fig. 406) fonctionne bien et pourrait s'appliquer avec avantage à nos waggons européens.



Les différents waggons d'un même train sont réunis les uns aux autres par des barres rigides.

« Les Américains, en étudiant leur matériel roulant, paraissent s'être appliqués à reproduire dans la disposition de leurs voitures celle d'un navire.

« *Le principal avantage des waggons américains est de porter un nombre considérable de voyageurs eu égard au poids mort des véhicules.*

« Sur le Baltimore et Ohio railway, les courbes étant de très-petit rayon, les voitures n'ont que 12 mètres de longueur; elles contiennent 60 personnes et ne pèsent que 7 tonnes. Sur les chemins anglais, il faudrait, pour porter le même nombre de voyageurs, un waggon pesant 10 tonnes au moins.

« Le waggon du chemin New-York et Erié, dont nous donnons le dessin, a 18 mètres de long et contient 80 personnes.

« Les waggons à marchandises, sur le Baltimore et Ohio railway, ont $8^m,40$ de long : ils portent 9 tonnes, et pèsent 6 tonnes. Sur le chemin anglais, le poids mort est à peu près égal au poids utile. »

Si nous comparons le poids mort au poids utile dans nos waggons français, nous trouvons que ce rapport est plus faible pour les voitures à voyageurs de 3e classe et pour les waggons à marchandises que pour les waggons à voyageurs et à marchandises des chemins américains.

Le matériel anglais, qui a servi de point de comparaison au capitaine Douglas Galton, serait donc plus lourd que le matériel français, et l'avantage qu'il attribue au matériel américain serait contestable.

C'est le châssis de la caisse qui, dans ces waggons, comme dans ceux du système belge, porte l'appareil d'attelage.

On a aussi employé sur le chemin de Strasbourg à Bâle des waggons à huit roues pour le transport des marchandises [1].

Les waggons à six roues sont moins sujets aux oscillations latérales et verticales que ceux à quatre, mais ils passent plus difficile-

[1] Voir le plan d'un de ces waggons dans le *Portefeuille de l'Ingénieur*.

ment dans les courbes. En amincissant ou en supprimant même les boudins des roues du milieu, et en donnant aux boîtes à graisse du jeu dans les plaques, on rend leur passage dans les courbes assez facile.

Les waggons à huit roues ont un mouvement de balancement désagréable pour les voyageurs entre les deux points sur lesquels reposent les caisses. Ils se prêtent moins bien aux exigences du service que ceux à quatre ou à six roues, et ne peuvent pas marcher dans de bonnes conditions à de grandes vitesses.

Le nombre de voyageurs portés par un waggon de chemin de fer est très-variable.

Dans les voitures de 1re classe des chemins anglais, on ne place pas au delà de six voyageurs par caisse, soit dix-huit par voiture. En France, on place huit voyageurs par caisse, soit vingt-quatre dans les trois caisses. Aux chemins de Versailles et de Saint-Germain, on place en outre seize voyageurs sur des banquettes de l'impériale.

Les caisses de voitures de 2e classe contiennent dix voyageurs par compartiment ; comme il y a généralement trois compartiments pour les voitures à quatre roues, cela fait trente voyageurs pour toute la voiture.

Les voitures de 3e classe à quatre roues reçoivent quarante ou cinquante voyageurs.

Il existe, sur le chemin de Sheffield à Manchester, et sur ceux d'Allemagne, des waggons à quatre roues dans lesquels on voyage debout ; ces waggons contiennent soixante voyageurs.

Les waggons à huit roues du chemin de Vienne à Raab portent cinquante-six voyageurs.

Si l'on compare le poids utile (celui des voyageurs ou marchandises) au poids mort (celui de la voiture vide), on trouve que ce rapport est moins grand que pour les voitures qui circulent sur les routes ordinaires.

Ainsi, dans les anciennes diligences du chemin de Versailles (rive gauche), où ce rapport était plus favorable que sur tout autre chemin de fer à cause des voyageurs placés sur l'impériale, il n'était que de 0,70, tandis que, pour les anciennes diligences circulant

sur les routes ordinaires, le poids de la charge utile était à celui de la voiture vide comme 5 est à 4, soit 1,20.

Il serait très-avantageux, surtout pour les lignes à fortes pentes, de réduire le poids du véhicule sans en diminuer la capacité ; mais cela est difficile, parce que le châssis doit présenter une grande solidité.

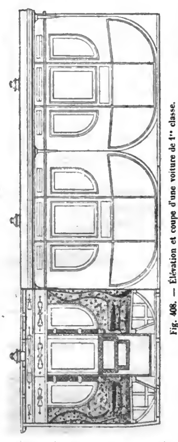


Fig. 408. — Élévation et coupe d'une voiture de 1re classe.

Il arrive même que sur les nouvelles lignes, bien loin de diminuer le poids des voitures, on l'a très-sensiblement augmenté. Ainsi les anciennes voitures de 1re classe à quatre roues et trois caisses du chemin d'Orléans ne pesaient que 3,345 kilogrammes; celles du chemin du Nord (fig. 408) pèsent 5,240 kilogrammes; celles d'Amiens à Boulogne, 5,640 kilogrammes; celles de Paris à Strasbourg, 5,200 kilogrammes.

Cet accroissement de poids tient aux exigences toujours croissantes des voyageurs et à la nécessité qui s'est fait sentir d'augmenter la solidité des voitures afin qu'elles résistassent mieux aux chocs.

Aujourd'hui sur les nouvelles lignes on allonge les caisses des voitures de 2e et de 3e classe de manière à porter de trois à quatre le nombre des compartiments.

Il semblerait que l'on dût ainsi obtenir une réduction dans le rapport du poids mort au poids utile, réduction analogue à celle obtenue en augmentant la capacité des waggons à marchandises ; mais, bien que l'on n'augmente pas le nombre des roues, on se trouve forcé d'accroître les dimensions des différentes parties de la

voiture, de telle façon que le rapport du poids mort au poids utile ne change pas dans les voitures de 3e classe et diminue fort peu dans celles de 2e. Nous trouvons, par exemple, qu'au chemin de Strasbourg le rapport du poids mort au poids utile, qui était, dans les anciennes voitures de 2e classe, de $\frac{4600}{2750} = 2{,}45$, est, dans les nouvelles, de $\frac{6200}{3000} = 2{,}10$.

Dans celles de 3e classe, le rapport que nous trouvons dans les anciennes voitures, de $\frac{4850}{3000} = 1{,}61$, est, dans les nouvelles, de $\frac{6000}{3750} = 1{,}60$.

Le principal avantage de l'augmentation des longueurs des voitures à voyageurs réside dans une petite réduction sur le prix. En effet, les anciens waggons de 2e classe, coûtant 5,600 fr., contenaient 30 voyageurs; en sorte que le capital engagé était de 186 fr. par voyageur. Dans les nouveaux, le capital engagé n'est que de 6,100 fr. pour 40 voyageurs, soit par voyageur 152 fr. Quant aux waggons de 3e classe, les anciens coûtaient 5,225 fr. et contenaient 40 voyageurs, ce qui représentait un capital de 130 fr. par voyageur. Les nouveaux coûtent 6,000 francs et contiennent 50 voyageurs, ce qui fait 120 fr. par voyageur.

L'écartement des essieux est plus grand dans les nouveaux que dans les anciens waggons. Ainsi cet écartement était, dans les anciens waggons de 2e classe, de 2m,49; il est, dans les nouveaux, de 3m,60. Il était, dans les anciens waggons de 3e classe, de 2m,65; on l'a porté, dans les nouveaux, à 3m,60.

Les voitures de 1re classe doivent être aussi confortables que possible, sans toutefois être assez lourdes pour que l'usage en devienne onéreux pour l'exploitation.

On considère les voitures du chemin du fer du Nord comme remplissant cette double condition. Sur quelques nouvelles lignes cependant on leur a substitué le modèle anglais, qui en diffère essentiellement en ce que les caisses, un peu moins grandes, ne contiennent que six voyageurs au lieu de huit. C'est un accroissement de dépenses qui ne nous paraît pas suffisamment motivé, si ce n'est sur les lignes dont la faible entre-voie ne permet pas de donner aux caisses la largeur nécessaire.

Les voitures de 2e classe, sans être aussi commodes que celles de

1re classe, doivent l'être plus que celles de 3e. Il est assez difficile d'établir entre les voitures des différentes classes une juste proportion entre le *confortable* et le prix des places, de manière que la réduction des prix n'induise pas les voyageurs qui sembleraient devoir naturellement choisir les voitures de 1re classe à préférer la 2e, ou ceux qui appartiennent à la 2e classe à se contenter de la 3e.

Les caisses des voitures de 2e classe sur différents chemins de fer en exploitation sont à peu près semblables. Elles ne diffèrent des caisses des voitures de 1re classe qu'en ce qu'elles sont moins bien garnies et moins longues. Elles contiennent deux voyageurs de plus par compartiment et sont, comme ces dernières, fermées avec des glaces mobiles.

Au chemin de fer de Lyon, les voitures de 2e classe sont trop confortables : elles doivent nécessairement attirer bon nombre de voyageurs prenant sur les autres lignes la 1re classe.

Les modèles des voitures de 3e classe présentent plus de variétés.

Sur le chemin du Nord les voyageurs de 3e classe étaient anciennement renfermés dans une caisse unique qui avait toute la longueur de la voiture. On y entrait par deux portières placées de chaque côté aux extrémités de la caisse ; les banquettes y étaient disposées en long, comme dans les omnibus. Deux banquettes s'appuyaient contre les parois latérales. Deux autres étaient établies au milieu de la caisse.

Le service aux stations avec un aussi petit nombre de portières ne se fait pas avec toute la rapidité désirable, et les voyageurs éprouvaient trop de difficultés à sortir des waggons en cas d'accident. Il vaut mieux diviser la caisse en quatre compartiments et ouvrir de chaque côté autant de portes qu'il y a de compartiments. Les banquettes sont alors placées en travers. C'est la disposition que l'on adopte pour tous les nouveaux waggons.

Les waggons de 3e classe ne sont jamais garnis.

Sur les chemins de Rouen, d'Orléans et d'Alsace ils étaient primitivement découverts. Les nouveaux cahiers de charges obligent les compagnies à les couvrir et même à les fermer latéralement avec des glaces mobiles.

Ces ouvertures ne doivent être ni très-grandes ni très-petites : si

elles sont très-grandes, les voitures de 3e classe se trouvent être en été plus agréables que celles de 1re; si elles sont trop petites, les voitures deviennent malsaines.

Les compartiments ne sont pas séparés par des parois pleines dans toute la hauteur, comme dans les voitures de 1re et de 2e classe, mais par de simples dossiers qui ne dépassent pas le milieu de la hauteur de la caisse. Ces derniers doivent être solidement établis, afin de relier et de soutenir les parois latérales.

On établit avec avantage dans le haut des parois latérales, au-dessous de l'impériale, de petites ouvertures rectangulaires avec des persiennes pour laisser entrer le jour et circuler l'air quand les rideaux sont tirés.

Anciennement on plaçait dans les voitures de 1re classe des patères en bois ou en métal pour y suspendre les chapeaux. Aujourd'hui on les remplace avec avantage par des filets.

Dans les voitures de 1re classe du Nord et de plusieurs autres chemins, les plafonds sont en bois de citronnier. Aux chemins de l'Est, ils sont simplement en drap, ce qui est plus économique.

On emploie sur les chemins de l'Est et au chemin de Cologne à Minden des coussins élastiques dont on est satisfait.

On trouve encore dans le matériel de la plupart des compagnies des voitures dites *de luxe*, composées d'un ou deux compartiments, garnis de meubles comme des salons et accompagnés quelquefois de terrasses pour les fumeurs et de *water-closets*.

Les compagnies d'Orléans et de l'Est ont offert à Sa Majesté l'Empereur des trains composés de voitures spéciales d'une grande richesse, contenant chambres à coucher et cabinets, salon, salle à manger et terrasse. Le dessin complet et la description de ces trains impériaux ont été publiés dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*.

On a fait des voitures exclusivement destinées aux fumeurs; mais, comme un grand nombre de voyageurs, contrairement aux ordonnances de police, fument dans toutes les voitures, et qu'avec le système de voitures adopté en France il est à peu près impossible de les en empêcher pendant le trajet, entre deux stations, on a renoncé à l'emploi de ces voitures spéciales.

En Allemagne, c'est par exception qu'il est défendu de fumer

dans une ou deux voitures de chaque train, désignées par un écriteau spécial. Dans toutes les autres, il est permis de fumer.

DES FREINS.

Un convoi marchant sur un chemin de fer, il y a nécessité de l'arrêter régulièrement devant certaines stations, ou accidentellement toutes les fois qu'on aperçoit le signal d'arrêt, ou qu'il se trouve sur la voie quelque obstacle imprévu.

On peut arrêter le convoi aux stations en ralentissant les machines à une certaine distance, de manière qu'elles cessent de marcher en arrivant à la station; mais on perdrait ainsi beaucoup de temps. C'est pour faciliter l'arrêt, en augmentant la résistance, qu'on emploie les freins. Cet appareil est surtout nécessaire en cas d'arrêt accidentel, devant un obstacle ou un signal.

Bien des personnes étrangères aux notions les plus élémentaires de la mécanique se figurent que le meilleur frein serait celui qui pourrait arrêter, au besoin, le convoi instantanément. C'est une grave erreur qu'il importe de détruire. Les freins ne doivent agir que graduellement, avec plus ou moins d'intensité, selon la force vive dont le convoi est animé.

Si le convoi était arrêté instantanément, il en résulterait un choc plus ou moins violent, dépendant en même temps de la masse mise en mouvement et de la vitesse dont cette masse serait animée. M. Gentil, ingénieur des mines, a dressé le tableau suivant, dans

NATURE DES TRAINS.	VITESSE A L'HEURE EN KILOMÈTRES.	VITESSE A LA SECONDE EN MÈTRES.	HAUTEURS DE CHUTE EN MÈTRES.	COMPARAISON.
	kilom.	mètres.	mètres.	
Trains de marchandises. . . .	25	6 94	2,456	Entre-sol.
— mixtes.	30	8 33	3,533	1er étage.
— omnibus.	40	11 11	6,293	2e étage.
— directs	50	13 88	9,825	3e étage.
— express.	60	16 66	14,159	4e étage.

lequel il a ramené ses calculs à l'indication de la chute verticale

d'un corps des divers étages d'une maison. Ici le tableau page 44 de l'enquête du gouvernement sur l'exploitation donne une assez juste idée de l'effet que l'on éprouverait en cas d'arrêt subit d'un train.

La plupart des freins employés aujourd'hui, semblables, en principe, aux freins des anciennes diligences, ralentissent le train en pressant des sabots en bois contre le cercle des roues et convertissent plus ou moins complétement le frottement de roulement de ces roues en frottement de glissement. Chaque frein n'agit que sur un seul véhicule à la fois et doit être manœuvré par un employé spécial qui porte le nom de *garde-frein*.

Une espèce particulière de freins dont l'usage est limité aux fortes pentes, et qui est connu sous le nom de *frein Laignel*, a aussi pour objet de convertir le frottement de roulement en frottement de glissement; mais les sabots de ce frein ne s'appliquent plus contre les roues; ils consistent en patins d'une certaine longueur qui viennent s'appuyer sur le rail en soulevant le waggon au-dessus et convertissant ainsi le waggon en un véritable traîneau. Nous en donnons plus loin la description.

Le nombre des waggons à frein dans chaque convoi est fixé par les règlements.

En France, les règlements exigent un frein dans un train de voyageurs de sept voitures et au-dessous; deux freins dans un train de quinze voitures et au-dessous jusqu'à sept; trois freins dans un train de plus de quinze voitures.

Indépendamment de ces freins placés sur les waggons, il s'en trouve toujours un sur le *tender* qui accompagne la locomotive.

Ces prescriptions s'appliquent à ce que nous pouvons appeler un train moyen, c'est-à-dire marchant dans des conditions de vitesse moyenne, comme le font les trains omnibus, et sur des pentes et rampes dont les pentes ne dépassent pas cinq à six millimètres. Pour produire le même effet sur des pentes plus fortes, le nombre des freins doit être augmenté dans une proportion qu'il est facile de déterminer.

Sur les fortes pentes du chemin de Turin à Gênes, par exemple, la proportion réglementaire des waggons à frein est de 1/2 pour les trains de voyageurs, de 1/3 pour ceux de marchandises.

Les règles adoptées en Prusse, à la suite d'un examen approfondi de la question, pour proportionner la puissance des moyens d'arrêt à la force vive accumulée dans le train et à la grandeur de la force accélérative sont les suivantes :

INCLINAISON.	POUR LES TRAINS DE VOYAGEURS.	POUR LES TRAINS DE MARCHANDISES.
De 0m,000 à 0m,0033, les freins doivent agir sur. .	1/6 des roues.	1/8 des roues.
De 0m,0033 à 0m,005, les freins doivent agir sur. .	1/5 —	1/7 —
De 0m,005 à 0m,010, les freins doivent agir sur. . .	1/4 —	1/6 —

L'action du frein proportionnelle à l'intensité du frottement de glissement dépend du poids du waggon sur lequel il est placé.

L'administration supérieure, en France, avait eu, un moment, la pensée d'imposer aux Compagnies un certain poids pour les waggons à freins, le poids devant être complété par du lest, si le waggon, avec sa charge, se trouvait trop léger ; mais l'application de ce principe a présenté, en pratique, de telles difficultés, qu'il a été abandonné. On remarquera, du reste, que les waggons à freins intercalés dans les trains de voyageurs, de marchandises, ou mixtes, ont généralement un poids supérieur à celui des autres waggons, et que le *tender*, pourvu toujours d'un frein, pèse plus que tout autre véhicule, la locomotive exceptée.

Les freins le plus généralement employés présentent les inconvénients suivants :

1° Le mécanicien, qui, le premier, aperçoit un signal d'arrêt ou un obstacle sur la voie, ne peut les manœuvrer lui-même. Il est obligé, pour en déterminer le serrage, de *siffler aux freins*, c'est-à-dire d'appeler l'attention des *garde-freins* par des coups de sifflet répétés ;

2° Le serrage avec les freins à vis ou à crémaillères, en usage pour les voitures à voyageurs, est trop lent.

Quelque rapide que soit l'action d'un frein, elle ne le sera jamais assez pour prévenir la plupart des accidents provenant d'un obstacle imprévu sur la voie ; car, ainsi que nous l'avons fait observer, elle ne doit jamais être instantanée, et le mécanicien, trop souvent, n'aperçoit l'obstacle que lorsqu'il s'en trouve à une trop petite distance pour que l'action du meilleur frein puisse être d'une grande utilité. On ne saurait toutefois contester l'utilité de perfectionner les freins actuels. Des freins mieux combinés, non-seulement peuvent, dans quelques cas, prévenir complétement un accident, mais, dans d'autres, ils peuvent en rendre les conséquences moins graves.

On pourrait compter par milliers les freins plus ou moins ingénieux inventés depuis une vingtaine d'années. Ils sont, pour la plupart, basés sur de faux principes ou d'une application impossible. Nous devons cependant, parmi ces freins, distinguer ceux de MM. Bricogne et Guérin, qui ont donné lieu à des rapports très-favorables de la part des commissaires nommés par le gouvernement pour s'occuper des moyens de diminuer le nombre des accidents sur les chemins de fer.

Le frein Bricogne a l'avantage de permettre un serrage plus rapide, mais il ne peut être manœuvré par le mécanicien; le frein Guérin est serré par le mécanicien et agit en même temps avec une grande rapidité.

Nous décrirons ces deux espèces de freins, après avoir parlé des freins en usage le plus généralement et du frein Laignel.

Freins ordinaires. — Les freins en usage aujourd'hui ou employés précédemment sont diversement construits.

Le sabot destiné à presser le pourtour de la roue est toujours en bois. Il est généralement boulonné à un patin en fer.

La figure 409 représente le frein employé dans l'origine au chemin de fer de Saint Germain.

S et S′ sont les sabots en bois.

Les patins *p* et *p*′ sont suspendus à des boulons *b* et *b*′, fixés à une des longrines du châssis. Ils peuvent osciller sur ces boulons comme un levier sur un point fixe. Deux petites bielles K et K′ assemblées à charnières avec les patins *p* et *p*′ sont réunies par un

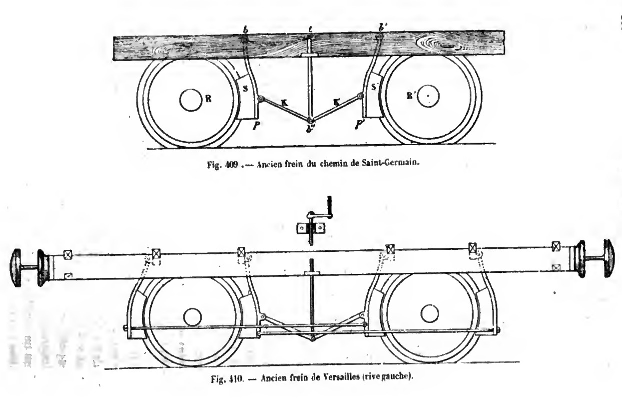


Fig. 409. — Ancien frein du chemin de Saint-Germain.

Fig. 410. — Ancien frein de Versailles (rive gauche).

boulon b'' à une tringle verticale t dont l'extrémité inférieure est emmanchée sur le même boulon, et monte verticalement jusqu'à l'impériale, où elle est filetée et se loge dans un écrou fixé à cette impériale. Cette tige se termine à sa partie supérieure par une manivelle placée dans la main d'un des conducteurs du train. En tournant cette manivelle, on fait descendre ou monter la tige verticale, et par conséquent le boulon b'', ce qui écarte ou rapproche les sabots des roues R et R'. Les sabots, étant fortement pressés contre les roues, les empêchent de tourner.

Le frein de Saint-Germain tend à écarter les deux roues, et par conséquent à détruire le parallélisme des essieux. C'est un inconvénient auquel on a cherché à remédier dans le frein (fig. 410), employé sur le chemin de Versailles (rive gauche).

Sur les chemins de Rouen, d'Orléans, et sur toutes les nouvelles lignes, les freins sont disposés tout différemment. Les sabots S et S' (fig. 411) sont portés à l'aide d'une coulisse sur une barre de fer plat B, fixée aux boîtes à graisse mêmes K et K', de telle sorte que le frein, en suivant le mouvement vertical des boîtes à graisse sur les saillies en fer à cheval agit toujours dans l'axe des roues. La barre de fer sert à prévenir l'écartement des essieux. Les sabots sont mis en mouvement par des bielles au moyen d'un arbre supporté par la même barre de fer.

Les sabots s'usant inégalement, ce frein, comme tous ceux dont l'axe est fixe, n'exerce pas la même pression sur les deux roues.

On obvie à cet inconvénient en ovalisant les trous des deux grandes entre-toises dans lesquels les extrémités de l'arbre portent.

Plusieurs ingénieurs préfèrent l'ancien frein des chemins de Versailles au frein plus moderne du chemin de Rouen. On a remédié à son principal défaut, celui de s'appliquer inégalement contre les roues quand la charge varie, en apportant dans sa construction une modification suffisamment indiquée dans la figure 412. La préférence en faveur de ce frein se motive de la manière suivante : il est d'un poids et d'un prix beaucoup moins élevés que le frein de Rouen ; il permet de retirer les roues du waggon sans qu'il soit

nécessaire de le démonter. Dans le système de Versailles, le frottement des glissières sur les longerons est supprimé, d'où il résulte

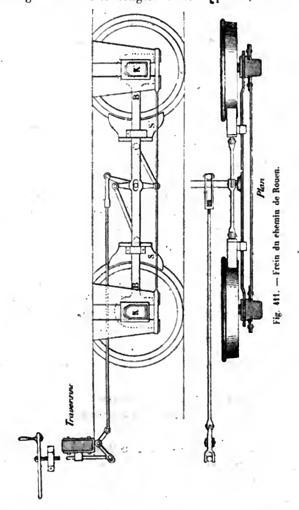


Fig. 411. — Frein du chemin de Rouen.

que la force déployée par le garde-frein pour le serrage est mieux utilisée.

Ce frein présente toutefois un inconvénient que n'a pas celui de Rouen, c'est de ne pouvoir s'adapter à un waggon que dans de cer-

taines conditions d'écartement des essieux. Cet écartement étant trop grand, il devient difficile de l'employer avec avantage. L'usure des sabots avec ce frein est aussi moins uniforme qu'avec le frein à longerons. A tout bien considérer, cependant, les avantages du frein de Versailles modifié l'emportent tellement sur les inconvénients, que nous conseillons de l'employer toutes les fois que les dispositions du matériel le permettront. Aux chemins de l'Est, on l'a adapté à un grand nombre de waggons.

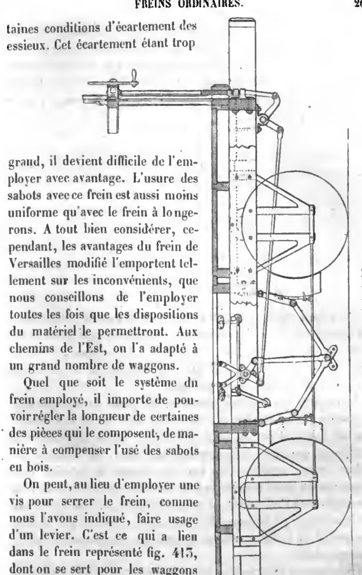


Fig. 412. — Nouveau frein de l'Ouest.

Quel que soit le système du frein employé, il importe de pouvoir régler la longueur de certaines des pièces qui le composent, de manière à compenser l'usé des sabots en bois.

On peut, au lieu d'employer une vis pour serrer le frein, comme nous l'avons indiqué, faire usage d'un levier. C'est ce qui a lieu dans le frein représenté fig. 413, dont on se sert pour les waggons de terrassement et les waggons à charbon.

L'usage du levier permet d'agir

avec beaucoup plus de promptitude, lorsqu'il faut serrer le frein ; mais le serrage n'a plus lieu dès que le conducteur cesse de s'appuyer dessus, et il n'est énergique qu'autant que le levier est très-long. Il devient même insuffisant pour les véhicules un peu lourds. L'emploi des tiges à vis, bien qu'il exige plus de temps pour le serrage, est préférable.

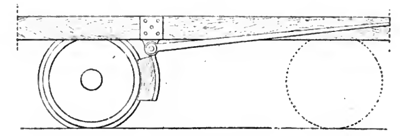


Fig. 413. — Frein à levier.

On a aussi employé des crémaillères et des roues d'engrenages au lieu de vis. Cette disposition a été appliquée plus particulièrement sur des tenders, dont l'attelage avec la machine est très-solide ; pour les waggons, elle agit trop rapidement et occasionne fréquemment la rupture des attelages.

Le rapport des éléments d'un frein du genre de ceux que nous venons de décrire doit être calculé de telle sorte, qu'un seul homme, par son poids ou par sa force musculaire, puisse déterminer un frottement supérieur à l'adhérence des roues, de manière que celles-ci soient arrêtées dans leur mouvement de rotation pour glisser sur les rails. Lorsque le frottement des sabots du frein n'est pas supérieur à l'adhérence, la roue continue à tourner en frottant sur le sabot ; il y a toujours alors un travail résistant qui absorbe une partie de la force vive et produit une diminution de vitesse correspondante.

Les sabots de frein sont en bois de charme ou de hêtre très-sec : on a quelquefois employé avec succès le peuplier blanc ; il faut un bois qui ne soit pas trop cher et trop susceptible de se polir par le frottement, car une forte pression deviendrait nécessaire pour fixer

les roues. Les sabots s'usent assez promptement ; il faut, pour éviter des réparations trop fréquentes, se réserver dans le tracé de leur construction une marge de $0^m,10$ à $0^m,12$ pour l'usure.

Frein Laignel. — Sur le plan incliné de Liége, on se sert, pour modérer la vitesse des convois descendants, de freins qui agissent directement sur les rails, au lieu d'agir comme les freins ordinaires sur les roues.

La fig. 414 représente cette espèce ingénieuse de frein, inventé par M. Laignel.

Le frein est porté sur un waggon spécial, appelé waggon-frein, que l'on charge d'un poids aussi considérable qu'on le juge nécessaire. Ce waggon est à six roues. Des patins en bois *pp'*, placés entre les roues R et R', sont suspendus par des tiges verticales aux extrémités de leviers.

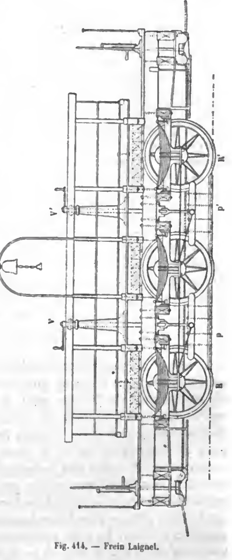


Fig. 414. — Frein Laignel.

On élève ou on abaisse les leviers et les patins au moyen de

vis V, V', qui se meuvent dans des écrous fixes supportés par des colonnes fixées au milieu de la plate-forme du waggon. Lorsqu'on veut faire agir le frein, on fait poser les patins en bois sur les rails et l'on presse jusqu'à ce que, le waggon étant soulevé sur ces appuis fixes, les roues cessent de reposer sur le rail. Le waggon-frein se trouve ainsi converti en un traîneau dont le frottement est d'autant plus grand que le waggon est plus lourd.

Les freins ordinaires produisent, quand ils agissent, un ébranlement désagréable pour les voyageurs, aussi doivent-ils être placés sur les waggons à marchandises ou à bagages, de préférence aux waggons à voyageurs, et sur les waggons à voyageurs de 2e ou de 3e classe, plutôt que sur ceux des voyageurs de 1re classe.

La meilleure disposition consisterait peut-être à mettre en tête et en queue de chaque train un waggon spécial chargé très-lourdement et muni d'un frein très-énergique; mais ce moyen deviendrait un peu coûteux.

Frein Bricogne. — L'ingénieux procédé étudié par M. Bricogne, ingénieur, inspecteur principal du matériel du chemin de fer du Nord, consiste à serrer les freins de voitures et de waggons, au moyen d'un contre-poids qu'on abandonne à lui-même en pressant la détente d'un appareil de déclic, pour amener mécaniquement les sabots du frein en contact avec les jantes des roues et commencer immédiatement l'enrayage.

L'avantage de ce procédé est de mettre instantanément le frein en état d'agir; de ne laisser au garde-frein qu'une détente à presser pour amener son frein en prise, et de le dispenser ainsi des sept à huit tours de manivelle qui entraînent toujours dans le jeu du frein ordinaire une perte de temps fâcheuse. Quand le contre-poids est descendu au bas de sa course, le garde-frein n'a qu'à donner un seul et dernier tour de manivelle pour achever le serrage du frein et compléter l'enrayage des roues. Lorsque le train doit reprendre sa marche, le garde-frein desserre son frein en remontant le contre-poids au point le plus haut de sa course, à l'aide d'une manivelle à volant; les roues redeviennent libres, et l'appareil se trouve en état d'agir de nouveau au premier signal qui partira de la machine.



Au frein Bricogne on fait les objections suivantes : 1° il coûte 400 francs de plus que les freins ordinaires, soit 1,000 francs au lieu de 600; 2° on peut le placer assez facilement à l'intérieur des waggons à bagages, mais il y occupe une place dont on pourrait tirer parti; 3° dans les waggons à voyageurs, où on ne peut le placer qu'extérieurement, son emploi présente plus de difficultés. On est alors obligé, ou de le loger à côté de la guérite du garde, dans une niche pénétrant dans l'intérieur du waggon et occupant alors une place de voyageur, ou de l'établir dans la guérite même en l'élargissant, ce qui augmente sensiblement le poids en porte-à-faux de la guérite, poids qui est déjà trop grand. Des inconvénients semblables se présenteraient pour les waggons à marchandises où la vigie est placée extérieurement.

M. Bricogne répond à ces objections en ces termes : 1° On ne peut manœuvrer commodément les freins ordinaires qu'en leur réservant dans les waggons à bagages une place presque aussi grande qu'aux freins à contre-poids; 2° on évite les inconvénients du porte-à-faux en modifiant la position des essieux; 3° l'augmentation de prix est bien compensée par les avantages que promet le frein à contre-poids.

M. Bricogne conserve le frein ordinaire à cric agissant sur les jantes des roues au moyen de sabots en bois guidés horizontalement, à la hauteur du centre des roues, et mis en jeu par un système de leviers coudés, et il fait agir sur la tige à manivelle de ce frein, à l'aide d'un pignon droit et de deux pignons d'angle, un poids portant une crémaillère venue de fonte, maintenu et guidé verticalement par des supports à galets fixés au plancher du waggon.

Ce poids est formé de deux parties prismatiques à section rectangulaire, assemblées, à leurs extrémités, à l'aide de pièces transversales, et espacées entre elles de manière à ménager une rainure dans laquelle est logé le pignon de la manivelle du frein. Il résulte de cette disposition que la ligne de contact des dents de la crémaillère et du pignon passe constamment par le centre de gravité du système, et que le poids se trouve par conséquent placé dans les meilleures conditions d'action, sans porte-à-faux. La course du poids est d'ailleurs calculée de manière à présenter assez de marge

pour permettre d'opérer le serrage du frein en tout état d'usure des sabots et des diverses pièces du mécanisme.

Le contre-poids est maintenu relevé à l'aide d'une roue à rochet dont le plan est horizontal, calée sur la tige à manivelle du frein, engrenant avec un appareil de déclic spécial fixé au plafond du waggon. Pour mettre le poids en prise, et commencer par conséquent le serrage du frein, il n'y a qu'à déplacer d'environ $0^{m},01$ l'extrémité du petit levier de l'appareil du déclic. L'appareil est si facile à mettre en jeu, que l'auteur ne doute pas qu'il soit possible, si on le juge utile, de permettre de faire agir simultanément tous les freins d'un même train, en reliant les leviers des déclics à une corde passant sur toutes les voitures et allant aboutir soit au mécanicien, soit à un garde-frein.

Il serait facile de déterminer l'action du contre-poids de telle sorte que l'enrayage des roues dût être immédiat et complet; mais l'auteur a pensé avec raison qu'il était préférable de rendre cette action mécanique du frein moins brusque et de calculer le poids de façon à lui faire commencer seulement le serrage des sabots, en laissant, comme nous l'avons dit, au garde-frein le soin d'agir sur une manivelle à volant pour parachever, suivant les cas, et eu égard à chaque circonstance, l'enrayage des roues.

Dans les freins de ce système que M. Bricogne a fait construire pour le chemin du Nord, le poids à crémaillère pèse 150 kilogrammes, et représente sur la manivelle à volant du garde-frein un effort de $18^{k},75$. L'effort nécessaire pour achever l'enrayage des roues, rapporté à l'extrémité du rayon de la même manivelle, n'est que de 5 kilogrammes. Enfin, la résistance à vaincre pour mettre l'appareil de déclic en jeu, au moment où doit commencer le serrage, n'est que d'un kilogramme.

Le frein Bricogne est employé aujourd'hui au chemin du Nord sur un grand nombre de waggons.

Frein Guérin. — Le frein Guérin a été essayé pour la première fois sur le chemin d'Orléans. Nous en empruntons la description à un rapport fait par M. Forquenot, l'un des ingénieurs de ce chemin, à la Société des ingénieurs civils.

« Dans les divers freins généralement employés sur les chemins

de fer, le serrage des sabots contre les roues est déterminé par l'effet produit sur une manivelle manœuvrée par le conducteur. Dans son appareil, M. Guérin utilise pour cet objet la pression qui a lieu sur les ressorts de choc des waggons composant un train en marche, lorsque le mécanicien, pour l'arrêter, ferme le régulateur de la machine et fait serrer le frein du tender.

« Pour arriver à ce résultat, il place sur l'arbre du frein deux leviers dont les extrémités se prolongent contre le ressort de choc d'arrière du waggon, de chaque côté de ses guides. Ces leviers servant de point d'appui au ressort, le frein fonctionnera dès que la rentrée des tampons aura lieu. On conçoit dès lors que, pour refouler un train en arrière, il faut que cet effet puisse être neutralisé.

« Ce but a été très-heureusement atteint au moyen d'un mécanisme simple et ingénieux qui a été composé de la manière suivante :

« 1° D'une pièce fourchue *adc* (fig. 415) fixée sur la traverse d'arrière des châssis, et articulée de manière à se baisser pour servir d'appui à l'embase de la tige du crochet de traction, ou à se soulever pour la laisser libre ;

« 2° D'un levier vertical *bf*, muni d'un contre-poids *l*, communiquant au moyen d'une tige *gh* son mouvement à la pièce fourchue *adc* ;

« 3° D'un manchon M, de forme particulière, monté sur l'un des essieux et pivotant à une certaine vitesse par l'action de la force centrifuge. Ce manchon présente en son milieu une gorge d'une profondeur convenable.

« Lorsque le train est animé d'une vitesse supérieure à 10 kilomètres, le manchon M change de position et présente au levier *b* sa partie creuse ; le contre-poids *l* agit pour soulever la pièce fourchue, la dégage de l'embase du crochet de traction et permet le recul du ressort de choc. Le frein peut alors se serrer sous l'influence de la rentrée des tampons.

« Au contraire, lorsque le train est au repos ou animé d'une vitesse inférieure à 10 kilomètres, le manchon M est ramené contre l'essieu par deux ressorts en spirale *rr'* ; et, dans cette position, il

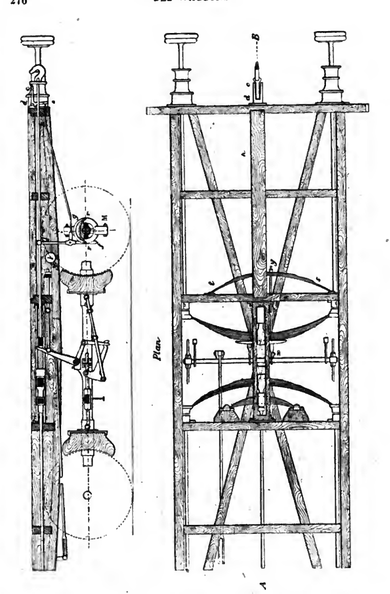


Fig. 115. — Frein automoteur Guérin.

présente au levier *bf* son plus grand diamètre; il laisse ainsi la pièce fourchue *adc* intercalée entre la traverse du châssis et l'embase de la tige de traction. Cette pièce sert alors d'appui au ressort de choc, qui peut remplir ses fonctions ordinaires sans transmettre aucun mouvement au frein.

« Pour compléter l'appareil, il a été placé un ressort de rappel *st*, fixé au moyen d'une tige *xy* à l'un des leviers de l'arbre du frein. Ce ressort, composé de trois feuilles à une tension initiale de 4 à 500 kilogrammes, a pour but de ramener à sa place le ressort de choc en desserrant le frein. Il empêche aussi que la rentrée des tampons, et, par conséquent, l'action du frein, ait lieu sous une faible pression, comme cela pourrait arriver lorsqu'un train descend une rampe sans vapeur.

« Il y a lieu de remarquer, en outre, que rien n'est modifié dans la manœuvre ordinaire du frein au moyen de sa manivelle, et que l'action de l'appareil automoteur n'exclut pas celle du garde-frein. On peut parer ainsi aux éventualités qui pourraient se présenter.

« C'est au mois de février 1854 que M. Guérin vint proposer à la compagnie d'Orléans son frein automoteur. Malgré quelques imperfections, il fut jugé applicable. Depuis lors ces imperfections ont été écartées, et il fonctionne régulièrement depuis deux mois. Le parcours qu'il a effectué est d'environ 2,500 kilomètres; le nombre d'arrêts qu'il a exécutés est de 7 à 800. Tous se sont produits avec la même exactitude et sans aucune altération visible du mécanisme.

« En marche, dès qu'on commence à serrer le frein du tender, les sabots du frein automoteur s'approchent, et quelques secondes suffisent pour qu'il enraye les roues.

« Lorsque, avant de laisser arrêter le train complétement, on desserre le frein du tender, ou qu'on rend de la vapeur pour laisser continuer la marche, le frein automoteur se desserre à l'instant même, et fonctionne de nouveau dès que le frein du tender recommence à agir.

« Avec un train de huit voitures, marchant à la vitesse de 50 à 55 kilomètres, un seul frein automoteur aidé du tender suffit pour arrêter dans l'espace de 140 à 150 mètres. Il a été reconnu que

quatre voitures suffisent derrière un frein automoteur pour le faire enrayer. On devra, dans la composition des trains, tenir compte de cette nécessité, et par conséquent l'on pourra mettre deux automoteurs dans un train de dix voitures, trois dans un train de quinze voitures, et ainsi de suite.

« Les avantages que présente l'appareil de M. Guérin sont assez évidents, il n'est pas nécessaire de les énumérer. Nous avons la conviction qu'il est appelé à rendre de grands services dans l'exploitation des chemins de fer. »

Le frein Guérin, tel que M. Forquenot l'a décrit, possède évidemment les qualités suivantes, qualités précieuses dans un frein appliqué aux waggons d'un chemin de fer :

1° Il peut être manœuvré par le mécanicien. La pression des sabots est considérable, et l'action du frein énergique, lorsque, en cas de nécessité, le mécanicien ralentit en tête aussi brusquement que possible, par les moyens dont il peut disposer, le frein du *tender* et le renversement de la marche [1].

Elle est, au contraire, faible, et le mécanicien peut, jusqu'à un certain point, la graduer, si l'arrêt doit se faire doucement et petit à petit, comme cela arrive toutes les fois qu'on aborde une station desservie par le train ;

2° Le mécanicien est maître de la persistance des actions comme de leur intensité ;

3° Le frein Guérin se détend et cesse d'agir lorsque le train est arrêté. Le recul peut se faire sans que le frein agisse;

4° Il peut être manœuvré à la main comme le frein ordinaire.

5° Il permet de limiter la vitesse sur les fortes pentes.

[1] Le rapporteur d'essais faits, par ordre du gouvernement, sur le frein Guérin, fait observer qu'on exagère souvent les services que peut rendre la contre-vapeur. Elle est fort utile pour arrêter brusquement une machine ou un train qui marche lentement; mais, à grande vitesse, il ne faut pas trop compter sur elle. Le renversement du levier n'est possible que quand les trains sont soustraits à l'action de la vapeur, de sorte qu'il faut successivement :

1° Fermer le régulateur;

2° Renverser le levier de changement de marche;

3° Rendre la vapeur.

Quelque promptitude que le mécanicien y mette, cette manœuvre entraîne une perte de temps fort grave, à grande vitesse.

Le frein Guérin a été expérimenté sur le chemin d'Orléans, par une commission d'ingénieurs de l'État. Trois automoteurs étaient placés immédiatement après le *tender*. La marche avait lieu conformément au tableau de service, c'est-à-dire à la vitesse moyenne effective de $28^k,83$ à l'heure.

La commission a constaté :

1° Que le mécanicien gouvernait son train avec une grande facilité, arrêtait avec précision, sans hésitation, aux points voulus, et commençait à ralentir en abordant les stations plus tard qu'il ne l'eût fait avec le même nombre de freins manœuvrés par le conducteur ;

2° Que le calage des roues avait lieu presque simultanément pour trois automoteurs successifs, quoique la poussée du train ne pût s'exercer sur le premier qu'en passant par le second et le troisième préalablement calés ;

3° Que l'accumulation en tête de tous les moyens d'arrêt n'entraînait aucune réaction brusque, à tel point que les voyageurs ne s'apercevaient même pas qu'il y eût quelque chose de changé, à cet égard, aux dispositions habituelles ;

4° Que le mécanisme d'embrayage pour le recul fonctionnait d'une manière irréprochable; le mécanicien, ayant, à diverses reprises, reçu l'ordre de dépasser un peu la station, y revenait sans plus de difficultés qu'avec un train pourvu de freins ordinaires.

D'autres essais ont été faits sur le chemin de Paris à Corbeil, avec un train spécial dont on pouvait, à volonté, modérer ou augmenter la vitesse.

Le poids du train brut comprenant celui de la machine et du *tender* étant de $145^t,30$, le nombre des freins automoteurs étant de 3, et le poids de ces freins étant de $30^t,32$, soit 22,78 p. 100 du train remorqué, on indiquait au mécanicien la vitesse approchée à laquelle il devait marcher. L'uniformité établie, un observateur, muni d'un compteur, notait le temps employé à franchir un certain nombre de poteaux télégraphiques : la vitesse étant connue, on donnait au mécanicien le signal du ralentissement en tête, et on observait le temps écoulé et l'espace parcouru jusqu'à l'arrêt.

EXPÉRIENCES.	VITESSE		PRESSION DANS LA CHAUDIÈRE.	PROFIL DU CHEMIN.	ESPACE PARCOURU.	TEMPS ÉCOULÉ.	OBSERVATIONS.
	PAR SECONDE.	PAR HEURE.					
	mèt.	kilom.	atm.		mèt.		
1	16,5	60	8	Palier.	390	45″	Rails secs, vent faible.
2	16,5	60	7 1/2	Palier.	400	45″	*Id.*

	tonnes.
Poids de la locomotive et du tender.	36,18
Poids du train remorqué.	77,17
Poids du train brut.	113,35

Nombre des freins automoteurs, 2.

Poids des freins automoteurs, 20t,24, soit 26,23 p. 100 du train remorqué.

Le troisième waggon à frein automoteur de la course précédente faisait également partie du convoi, mais sa position en queue (l'avant-dernier) annulait son action.

Le premier frein automoteur était placé derrière le tender; venaient ensuite trois waggons, puis le second frein, suivi lui-même de trois waggons.

EXPÉRIENCES.	VITESSE		PRESSION DANS LA CHAUDIÈRE.	PROFIL DU CHEMIN.	ESPACE PARCOURU.	TEMPS ÉCOULÉ.	OBSERVATIONS.
	PAR SECONDE.	PAR HEURE.					
	mèt.	kilom.	atm.		mèt.		
1	16,5	60	6 1/2	Pente de 0,002.	350	35″	Rails secs.
2	16,5	60	6 1/2	Palier.	325	28″	Rails secs.
3	18	65	6	Pente de 0,0005.	275	25″	Rails secs. Contre-vapeur.

Dans ces expériences, sauf la dernière, le mécanicien n'employait, pour ralentir en tête, que les moyens usuels, c'est-à-dire la fermeture du régulateur et le serrage du frein du tender. Dans la dernière il a, de plus, renversé la vapeur.

Attentifs au signal, ayant la main, l'un au régulateur, l'autre à la manivelle du frein, le mécanicien et le chauffeur ne perdaient pas un instant; la manœuvre était faite avec une promptitude qu'il serait impossible de dépasser, et souvent même difficile d'atteindre dans le service. Les résultats qui précèdent doivent donc être regardés comme la limite de ce que peut donner, dans les circonstances indiquées de vitesse et de composition du train et d'état des rails, l'action automatique des tampons mise en jeu par les moyens de ralentissement tels qu'ils sont aujourd'hui.

Freins automoteurs américains et allemands. — Des freins automoteurs qui ont quelque analogie avec le frein Guérin ont été employés aux États-Unis et en Autriche. Le frein américain, qui ne nous est qu'imparfaitement connu, paraît satisfaire aux mêmes conditions que le frein Guérin.

Quant au frein allemand, inventé par M. Reiner, il présente ce grave inconvénient de nécessiter un déclenchement opéré à la main, waggon par waggon, après l'arrêt.

Certains freins (le frein bavarois, par exemple, et le frein de M. Cochot) portent le nom de *freins de détresse*, parce que, le travail de serrage étant produit par le déclenchement d'un poids, leur effet est invariable; ils donnent tout ou rien. Ces freins, tout à fait impropres aux conditions du service courant, ne dispensent pas de l'emploi des freins ordinaires. Un appareil de sûreté de ce genre, introduit uniquement en vue d'éventualités heureusement fort rares, ne sauraient avoir notre approbation.

Il ne faut pas confondre avec les *freins de détresse* le frein Bricogne, bien que le serrage ait lieu, comme dans ceux-ci, à l'aide du déclenchement d'un poids. Il ne faut pas oublier que, dans le frein Bricogne, l'usage du poids n'a pour objet que de faciliter l'action du garde-frein, mais qu'elle ne dispense pas de cette action. Le frein Bricogne répond, comme les freins ordinaires, à toutes les exigences du service courant.

Chaufferettes. — On emploie pour le chauffage des voitures de 1re classe des caisses en métal remplies d'eau bouillante. Au chemin de Rouen, elles sont carrées et logées sous les pieds des voyageurs dans des compartiments spéciaux ménagés au bas des caisses des

voitures. Aux chemins d'Orléans, du Nord, de Lyon et de Strasbourg, on se sert de caisses cylindriques rondes ou ovales posées simplement sur le plancher. Ces caisses sont en tôle rivée et enveloppées d'un tapis en moquette. Les chaufferettes carrées se déforment facilement et se refroidissent vite. Les pieds ne touchent les chaufferettes rondes que par une arête. On les remplace au chemin de Strasbourg par des chaufferettes elliptiques.

MATÉRIEL ARTICULÉ DE M. ARNOUX.

Après avoir décrit le matériel en usage sur toutes nos grandes lignes, nous devons faire connaître celui qui est employé par M. Arnoux sur le chemin de fer de Sceaux, et au moyen duquel on passe librement dans les courbes du plus petit rayon. Nous dirons par quelles raisons on n'a pu, jusqu'à présent, l'appliquer avec avantage au service de nos grandes lignes.

Les voitures de M. Arnoux, construites dans l'origine pour le chemin de Sceaux, ont été modifiées essentiellement par M. Arnoux fils. Bien que ces anciennes voitures soient aujourd'hui abandonnées, nous croyons utile d'en reproduire d'abord la description, ne fût-ce que pour ajouter une nouvelle page à l'histoire des découvertes.

Les voitures de M. Arnoux présentaient des dispositions qui diffèrent complétement de celles des waggons ordinaires.

Les trains de ces voitures, dont la construction a une grande analogie avec celle des voitures en usage sur les routes, se composent d'un avant-train et d'un arrière-train semblable au premier (fig. 416). Chaque essieu A, traversé par une cheville ouvrière, n'a que la liberté de tourner horizontalement sur cette cheville. Les roues, montées à boîtes patentes et cylindriques, sont libres sur les fusées.

L'avant-train et l'arrière-train sont réunis par une flèche B traversée par les chevilles ouvrières partant des lisoirs, sur lesquels seraient placés les ressorts.

Les voitures sont unies entre elles par une tringle rigide E, traversée par la cheville ouvrière de l'arrière-train de la voiture qui précède et par celle de l'avant-train qui suit.

Sous l'essieu d'avant-train de la première voiture se trouve une

traverse qui passe dans deux brides, lesquelles imposent à l'essieu et à la traverse un parallélisme rigoureux. Cette traverse est terminée à chaque extrémité par une fourche dont les branches H,

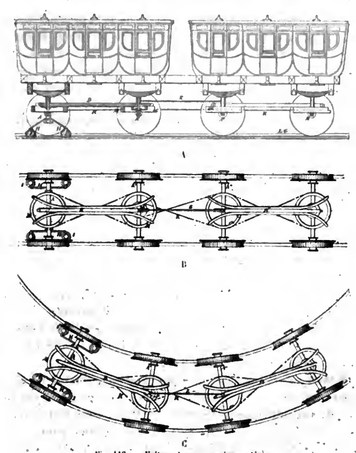


Fig. 116. – Voiture Arnoux, ancien système.

descendant à la hauteur des rails, portent quatre galets I qui touchent à peine les rails et donnent sans effort à cette traverse, et par suite à l'essieu, la direction normale au chemin.

De cet essieu A la direction symétrique est communiquée à l'essieu A' de la même voiture au moyen d'une chaîne K croisée et pas-

sée sur deux poulies M fixées à chaque essieu et d'égal diamètre.

De la première à la seconde voiture la traction s'opérant par la tringle E, la direction est communiquée au premier essieu A″ de cette deuxième voiture par une chaîne croisée K, laquelle passe, d'une part, sur une poulie N fixée à la flèche de la première voiture et traversée par la cheville ouvrière de l'arrière-train, et d'autre part sur une poulie O′, d'un diamètre double, fixée à l'essieu de l'avant-train de la deuxième voiture et également concentrique avec la cheville ouvrière. Et ainsi de suite, d'essieu à essieu, et de voiture à voiture.

On voit (fig. 417) qu'en communiquant de cette manière simultanément l'inflexion contraire aux deux essieux d'une même voiture, le second prend l'obliquité un peu avant son entrée dans la courbe, et qu'en transmettant la direction aux essieux de la deuxième voiture par la flèche de la première, ces essieux la reçoivent un peu avant que cela ne doive avoir lieu [1].

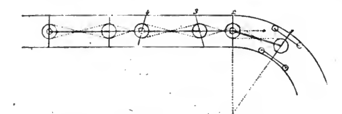


Fig. 417. — Position des essieux dans l'ancien système.

Il eût été plus convenable que cette direction normale à la courbe à parcourir ne se communiquât à chaque essieu qu'au fur et à mesure de son entrée dans cette courbe, et l'on y serait arrivé en plaçant sous chaque essieu l'appareil directeur indiqué pour le premier des essieux du convoi; mais, outre que cela eût compliqué considérablement le système, on eût perdu l'avantage de la solidarité d'essieu à essieu et de voiture à voiture.

[1] La note suivante fournit la démonstration du principe sur lequel est fondé le mode de transmission du mouvement.

Soit *ab* (fig. 418) la flèche qui unit les deux essieux *tt* et *ss* d'une voiture, soit *bc*, la flèche d'une deuxième voiture avec ses essieux *ss* et *tt*.

Supposons un instant qu'il soit possible de supprimer l'espace qui sépare les voitures,

« L'obliquité dont il s'agit, dit M. Poncelet dans un rapport à l'Académie, soulève contre le système Arnoux une objection que nous avons cru devoir signaler, et qui consiste en ce que, d'une part, cette obliquité engendre un léger frottement de glissement contre les rails, d'une autre, qu'elle donne lieu à une tendance des roues de l'arrière-train à les surmonter; circonstance tout à fait analogue à celle qui se présente pour le système ordinaire, dans les tournants, à cela près qu'ici l'obliquité, la déviation des roues, se fait d'une manière progressive et ne dure qu'un instant pour ainsi

le premier essieu *ss* de la deuxième voiture *bc* sera superposé au deuxième essieu *ss* de la deuxième voiture *ab;* dans cette position, les deux voitures sont en ligne droite, tous les essieux sont perpendiculaires aux flèches.

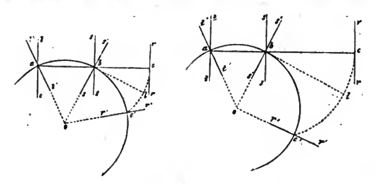


Fig. 418.

Si du point *o.* comme centre, on fait passer une circonférence par les points *a* et *b*, et si l'on considère la première voiture placée sur cette courbe, les essieux *tt*, *ss*, devront prendre la direction *t't'o* et *s's'o*.

Supposons qu'on passe au train *bc*, de la deuxième voiture, la même position sur la courbe, *bc* devient *b'c'* et l'essieu *sbs* devient *s'b's'*, c'est-à-dire se confond avec le premier, auquel il était déjà superposé dans la première position.

Si, au point *b*, on mène la tangente *bl*, on trouve que dans ce mouvement l'essieu *bs* a décrit un angle *sbs'* égal à l'angle *cbl;* mais l'angle *cbl* est la moitié de l'angle *cbc'* décrit par la flèche de la deuxième voiture, et, comme d'ailleurs cette direction ne peut varier, quelle que soit la distance qui sépare les deux voitures, il en résulte que si l'on considère deux voitures consécutives, et qu'on suppose qu'au moment où la première entre dans une courbe elle puisse communiquer aux essieux de la voiture qui la suit un angle moitié de celui que décrit la flèche, ou l'axe de cette première voiture, les essieux de la deuxième auront pris une position normale à la circonférence.

Dans le cas où les flèches des voitures n'auraient pas la même longueur (fig. 418), *ab* étant la première et *bc* la deuxième, on trouverait que les angles décrits par les essieux seraient aux angles décrits par les flèches :: *cbl* : *cbc'*.

dire imperceptible; car sa période d'accroissement et de décroissement se trouve accomplie, pour chaque voiture, aussitôt que l'arrière-train atteint, à son tour, la portion courbe du chemin : elle n'a jamais lieu que pour trois essieux consécutifs du convoi, et elle ne se reproduit, en sens inverse, que quand les avant-trains quittent successivement la direction curviligne de ce chemin pour rentrer dans une portion rectiligne. Enfin, ces déviations, toujours fort légères, résultat nécessaire du changement brusque de courbure de la voie, peuvent être atténuées à volonté, au moyen d'un tracé convenable. »

Le système Arnoux, tel que nous venons de le décrire, ne laisse pas que d'être assez compliqué, et ne permet de marcher à reculons qu'en modifiant la disposition des disques et des chaînes. M. Henri Arnoux fils l'a, dans ces derniers temps, considérablement simplifié et a rendu facile la marche dans les deux directions.

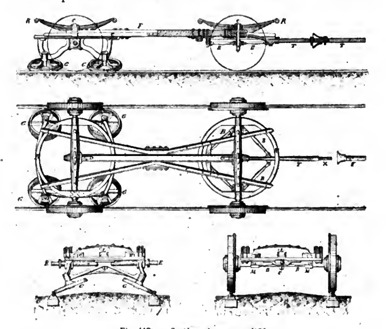


Fig. 419. — Système Arnoux modifié.

Dans ce nouveau matériel, les galets directeurs, les essieux et

les roues mobiles, ainsi que les timons rigides, ont été conservés; mais les chaînes croisées et les disques qu'elles enveloppaient out été supprimés; chaque essieu est dirigé par un appareil très-simple, représenté figure 419[1].

MM sont des manchons qui enveloppent les essieux en glissant sur eux dans le sens de l'axe.

BB représentent quatre bielles égales entre elles, disposées en losange dans le plan horizontal qui passe par l'axe de l'essieu et de manière que celui-ci en forme une des diagonales.

Ces bielles sont fixées à charnière par leurs extrémités, savoir : les deux intérieures à la flèche et aux manchons MM, les deux extérieures aux mêmes manchons et au timon T.

Le timon et la flèche étant en ligne droite, les essieux sont tous parallèles entre eux et perpendiculaires à cette ligne droite; mais, si le timon et la flèche viennent à s'incliner l'un sur l'autre, de ma-

[1] *bg* et *hf* (fig. 420) étant les directions primitives du timon et de l'essieu, *ba* et *bc* sont les directions nouvelles. Il est facile de prouver que l'angle *dba* est partagé en deux parties égales par la droite *bc*.

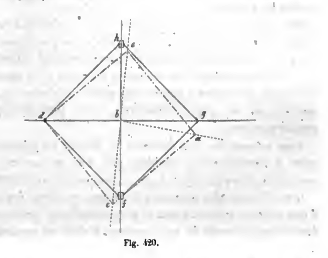


Fig. 420.

En effet, *bc* est un côté commun aux deux triangles *bac*, et *bcd* *ba* = *bg* = *bd*, et *ae*, côté du parallélogramme, = *de*, autre côté; donc les deux triangles *bac* et *bcd* ont les côtés égaux, donc ils sont superposables; donc l'angle *cba* = l'angle *dbc*, c. q. f. d

On prouverait également sans difficulté que l'angle *gba* = deux fois l'angles *fbc*.

nière à former un angle quelconque, ce qui arrivera quand on parcourra une courbe, l'essieu divisera cet angle en deux parties égales, comme l'indique la figure 421.

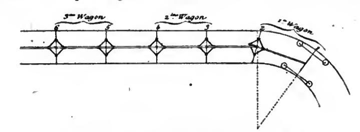


Fig. 421. — Position des essieux dans le nouveau système.

Cette direction sera normale à la courbe parcourue; condition nécessaire pour éviter les frottements de glissement et les chances de déraillement.

Le système Arnoux est certainement le plus remarquable qu'ait produit dans ces derniers temps le génie des inventeurs appliqué aux chemins de fer, et l'Académie en a dignement récompensé l'auteur en lui accordant le grand prix de mécanique.

On a adressé toutefois au système Arnoux plusieurs reproches, dont le principal consiste dans la difficulté que l'on éprouve à l'appliquer à des machines puissantes. Avec le matériel articulé, en effet, il paraît impossible de lier toutes les roues de la machine par des bielles, de manière à obtenir une grande adhérence, et, ne pouvant obtenir une grande adhérence, on ne peut développer une grande puissance.

Nous verrons plus loin comment M. Arnoux est parvenu récemment à construire des machines qui, tout en passant dans les courbes du plus petit rayon, traînent des charges considérables.

Il est d'autant plus important de pouvoir employer des machines d'une certaine puissance avec le matériel articulé, que la solidarité des voitures nécessite un accroissement d'effort au moment du départ.

Voici comment s'exprime le rapporteur de l'Académie au sujet de cette solidarité :

« Quoique le motif fondé sur l'influence de l'inertie, lors du pre-

mier ébranlement, n'ait d'importance que sous le rapport de la durée plus ou moins grande de l'action motrice et quoique les expériences de Coulomb, confirmées depuis par celles de M. Morin, tendent à prouver que le frottement des substances métalliques est le même à l'instant du départ qu'à l'état de mouvement, on doit cependant admettre que le système des waggons, par suite de la flexibilité et des inégalités de la voie, ou d'une cause d'adhérence accidentelle quelconque, peut, dans beaucoup de cas, offrir une résistance initiale moyenne, supérieure à la résistance moyenne, même en y comprenant celle de l'air, et sous ce point de vue nous accordons volontiers qu'il y ait de l'avantage à rendre les voitures indépendantes au moyen de chaînes de tirage. »

Toutefois l'attelage au moyen de chaînes présenterait, suivant le savant auteur du rapport, des inconvénients plus graves encore, et l'on ne saurait objecter sérieusement au système Arnoux l'emploi des barres rigides. Les praticiens ne partagent pas tout à fait cette opinion ; ils ont, à la vérité, renoncé aux chaînes, mais ils les ont remplacées par les tendeurs décrits page 206, et non par des barres rigides.

On a reproché au système Arnoux sa complication et la gêne qui pouvait en résulter pour le service ainsi que l'accroissement des frais d'entretien. M. Arnoux a déjà répondu en grande partie à ce reproche par la simplification importante qu'il a introduite dans la construction de son matériel.

On a dit encore avec raison que, quel que soit le système employé, l'existence de petites courbes dans le tracé d'un chemin de fer devient toujours dangereuse quand on veut marcher à de grandes vitesses.

M. Arnoux a proposé d'employer son matériel articulé pour les trains légers, marchant à de grandes vitesses sur les lignes déjà construites avec des courbes de grand rayon, dans le but de diminuer l'usure des roues et l'effort de traction au passage des courbes. L'essai en a été fait sur le chemin de fer du Nord, et sur celui d'Orléans ; il a été observé dans cet essai au chemin de fer d'Orléans : 1° que les voitures de ce système étaient moins douces que les autres, que l'attelage rigide nuisait à la souplesse du mouvement des

véhicules, et, de plus, que la disposition de la rondelle en bronze qui seule fixe les boîtes, et par suite les roues sur l'essieu, est une source de chauffages et de dangers, puisque cette pièce, faite de demi-circonférences réunies entre elles par des boulons, peut se rompre, et, en tout cas, donne lieu à un frottement assez considérable.

2° Que les fusées fixes, ne s'usant que sur l'une de leurs génératrices et fonctionnant à l'inverse de ce qui se passe aujourd'hui, devront être trop fréquemment retouchées, que les pertes d'huile sont constantes, et qu'il n'existe aucun moyen de s'assurer que les fusées sont bien lubréfiées.

On a dit enfin qu'un semblable système ne pouvait être appliqué à un grand nombre de waggons, puisqu'il est impossible de s'assurer de l'état des pièces qui le composent sans passer sous le waggon pour les examiner.

M. Delannoy, ancien élève de l'École centrale, ingénieur du chemin de Sceaux, a corrigé une partie des défauts que nous venons de signaler de la manière suivante :

Les deux dernières rondelles ont été supprimées, comme l'indique la fig. 422; la roue se trouve maintenant sur son essieu entre le collet C et la rondelle fixe K; contre laquelle vient se fixer l'écrou E; cette roue est donc parfaitement encastrée et roule librement sur sa fusée.

Quant à ce qui est du système de graissage, M. Delannoy y a remédié au moyen du réservoir C venu dans l'écrou, lequel est mis en communication avec la fusée par le trou B.

Perpendiculairement et au-dessus du conduit B sont percés deux autres trous *b* et *b*, destinés à livrer le passage libre aux mèches H et H. La partie supérieure de la fusée A est légèrement évidée pour recevoir une bande de feutre E, laquelle est maintenue sur la fusée à l'aide de vis; de plus, un petit ressort l'oblige à venir frotter la boîte.

Le réservoir C est au niveau de la fusée, de telle sorte qu'il n'y a charge d'huile dans aucun cas, et par suite aucune perte dans l'alimentation par les joints extérieurs, l'huile ne pouvant jamais s'élever plus haut que la face supérieure de la fusée. Si donc on remplit

d'huile le réservoir, celle-ci arrive par les conduits au feutre, lequel se trouve spontanément imbibé, puisque le niveau du réservoir et

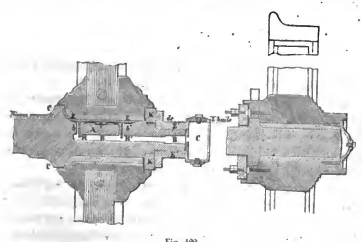


Fig. 422.

celui de la fusée sont sur la même ligne horizontale, d'où résulte un graissage à la fois rapide et sûr.

Le système Arnoux a sur le système américain, qui permet également de passer dans les courbes de petit rayon, l'avantage de se prêter à de grandes vitesses, incompatibles avec le système américain. On pourrait par conséquent, sur des lignes de premier ordre, qui traversent des pays de montagnes au moyen de courbes de très-petit rayon, comme celle de Vienne à Trieste, employer le système Arnoux, en marchant à grande vitesse dans la plaine, et à petite vitesse au passage des montagnes.

Mais encore faudrait-il, dans ce cas, que le convoi ne renfermât que des waggons articulés, ce qui serait une grande sujétion. M. Arnoux, au moment où nous allions mettre sous presse, a bien voulu nous donner connaissance d'un nouveau modèle de waggon [1],

[1] Nous donnerons, dans l'Appendice, la description complète de ces waggons, dont nous ne possédons pas encore les dessins, et ferons mention d'expériences qui viennent d'être faites sur le chemin de Sceaux par M. Bertera, pour marcher dans de petites courbes avec des essieux parallèles et des roues mobiles sur l'essieu.

dont on rend les essieux parallèles et le tampons mobiles, comme les essieux et tampons des waggons ordinaires, pour le service sur les voies ordinaires à grandes courbes, et auquel on donne, pour le passage des voies à petite courbure, toute la flexibilité du système articulé avec la plus grande facilité. Ce waggon peut être ainsi introduit dans la composition des trains formés pour la plus grande partie de waggons ordinaires, aussi bien que dans celle des trains formés uniquement de waggons articulés.

Grâce à ces perfectionnements successifs que M. Arnoux, aidé de ses collaborateurs, avec une habileté et une persévérance dignes des plus grands éloges, a apportés successivement à son système primitif, il y a lieu d'espérer qu'il pourra être employé avec avantage, surtout au passage des pays de montagnes.

Il ne resterait, pour obtenir un résultat tout à fait satisfaisant, qu'à porter de quatre à huit le nombre des roues couplées de la machine, tout en conservant une mobilité suffisante aux essieux. MM. Arnoux et Polonceau s'occupent de ce problème et sont sur la trace d'une solution.

CAHIERS DES CHARGES POUR LA FABRICATION DES VOITURES.

Les cahiers des charges pour la fabrication des voitures doivent contenir, en ce qui concerne l'exécution des modèles, les réceptions, les garanties, les payements, la défense de sous-traiter, et la constitution d'un tribunal arbitral en cas de contestation, les mêmes clauses que les cahiers des charges pour les rails, pour les coussinets, pour les changements de voie et pour les plaques tournantes.

Il nous reste à passer en revue les différentes conditions qui leur sont particulières.

La fabrication des roues, des essieux, des ressorts, des châssis et des caisses de voitures, n'est pas ordinairement confiée à un seul et même établissement.

Les roues, les essieux et les boîtes à graisse proviennent des forges et des fonderies, tandis que le châssis, la caisse et quelquefois les ressorts des voitures de voyageurs sont commandés aux grandes carrosseries.

Quant aux caisses de waggons de terrassement ou de waggons

de marchandises, elles peuvent être fabriquées avec économie et toute la perfection désirable par de simples charpentiers.

Essieux. — Les essieux doivent être composés de barres de fer de première qualité, corroyées ensemble. Ces barres doivent avoir été préparées entièrement au charbon de bois et forgées au marteau.

En Allemagne, on emploie depuis quelque temps des essieux en acier fondu, qui donnent, dit-on, pleine satisfaction.

Quelques-unes au moins des barres qui doivent composer l'essieu et les essieux eux-mêmes subissent une épreuve.

Souvent on essaye les essieux des voitures employées sur les chemins de fer comme ceux de l'artillerie, soit en les posant sur des appuis dont l'écartement est constant, et en laissant tomber la barre elle-même horizontalement, d'une certaine hauteur, sur des blocs de métal; mais, comme ces essais fatiguent beaucoup les essieux, on n'y soumet qu'une petite portion de chaque livraison prise au hasard, et l'on ne saurait employer, sans quelque imprudence, les essieux ainsi éprouvés.

Sur le chemin de fer de Paris à Strasbourg, on procède différemment : chaque essieu étant forgé avec un excédant de longueur de 25 à 30 centimètres, on rogne les bouts en les entaillant à froid, de manière à en déterminer la rupture, et on les brise au marteau. Par ce moyen, on peut, non-seulement apprécier la résistance du fer, mais encore en examiner la texture et s'assurer de sa qualité.

Ces fragments, marqués au nom du fabricant et au numéro de l'essieu dont ils proviennent, sont conservés comme pièces justificatives de la bonne qualité des fers employés et comme moyens d'observations ultérieures. On a quelquefois trempé les fusées en paquet, mais on y a renoncé parce qu'elles devenaient alors trop fragiles.

Coussinets. — En Prusse on emploie des coussinets de compositions très-variées. Ainsi sur les chemins de Berlin-Potsdam, Breslau-Fribourg, Aix, Maëstricht et Cologne-Minden, on se sert de coussinets en métal rouge dont la composition est de 74 à 80 pour 100 de cuivre allié avec de l'étain et même quelquefois avec du plomb et du zinc.

D'autres chemins, tels que ceux de Westphalie, Magdebourg, Halberstadt, Saarbrück, Aix, Dusseldorf et Berg-Mark, ont conservé pour les véhicules qui sont chargés de plus de 3,75 tonnes les coussinets en composition rouge et adopté pour les waggons d'une moindre capacité l'alliage blanc avec 75 à 85 pour 100 d'étain, 5 à 11 pour 100 de cuivre et de 10 à 17 pour 100 d'antimoine.

Enfin des chemins en assez grand nombre, ceux de Berlin-Anhalt, Silésie supérieure, Neisse à Bing, Magdebourg-Leipzig-Rhénau, raccordement de la Silésie inférieure, Silésie inférieure, Mark, donnent la préférence au métal blanc pour toutes les charges, la proportion d'étain variant de 82 à 91 pour 100, celle de cuivre de 3 à 6 pour 100, et celle d'antimoine de 6 à 12 pour 100. L'alliage préféré contient 85 d'étain, 5 de cuivre et 10 d'antimoine.

Les coussinets qui ont le plomb pour base ont été employés sur cinq chemins de fer, et paraissent se bien comporter quand ils sont maintenus dans un état de lubrification satisfaisant, mais ils souffrent aussitôt qu'ils marchent à sec et ont été souvent remplacés par une composition à base d'étain.

Le plomb est préféré à l'étain pour les faibles charges, l'étain est conservé pour les charges plus fortes.

La plupart des alliages de plomb contiennent de 80 à 85 pour 100 de plomb et de 15 à 20 pour 100 d'antimoine.

Au chemin de Berlin-Hambourg on se sert d'un alliage renfermant 20 pour 100 d'étain, 60 pour 100 de plomb et 20 pour 100 d'antimoine; au chemin de Berlin-Stettin d'un alliage composé de 42 pour 100 de plomb, 42 pour 100 d'étain et 16 pour 100 d'antimoine.

Un seul chemin, celui d'Aix à Maëstricht, possède des coussinets en cuivre doublés de métal blanc.

Il est essentiel, lorsqu'on emploie du bronze pour les coussinets, de le soumettre à l'analyse. Nous avons indiqué plus haut quelle devait être sa composition.

Boîtes à graisse. — Les boîtes à graisse doivent être en fonte de bonne qualité et parfaitement semblables au modèle fourni par l'ingénieur au fabricant.

Roues. — Les roues doivent être parfaitement centrées sans le

secours des clavettes, ce qui ne peut se faire qu'autant que le moyeu est alesé.

On reconnait à la réception que les roues tournent bien rond, en posant l'essieu sur deux coussinets fixes, le faisant tourner, et plaçant une pointe fixe à une petite distance de la roue.

Si la roue est bien centrée, cette distance doit rester invariable.

On reconnait de la même manière, en plaçant le style fixe derrière la roue et perpendiculairement à son plan, que ce plan n'incline dans aucun sens sur la direction de l'essieu.

L'ingénieur doit se montrer extrêmement sévère sur la qualité du fer dont est composé le cercle à rebords ou bandage. Pendant longtemps il a été difficile de s'en procurer qui joignit la dureté à la ténacité nécessaire.

Plusieurs usines en fabriquent maintenant d'excellente qualité; mais on leur préfère assez généralement les bandages en acier puddlé ou en acier fondu. Anciennement tous les bandages étaient recourbés sur les roues et soudés à leurs extrémités. Aujourd'hui MM. Petin et Gaudet les livrent sous forme de cercle du diamètre de la roue sur laquelle on les emmanche.

On a exigé que les bandages fussent tournés à l'intérieur aussi bien qu'à l'extérieur, afin qu'ils s'appliquassent bien exactement sur le faux cercle; mais on les fabrique aujourd'hui avec une telle précision, qu'il est devenu inutile de les tourner intérieurement.

L'ingénieur doit fixer son attention sur le plus ou moins de soin apporté dans l'assemblage du bandage avec le cercle intérieur au moyen des rivets. Nous avons vu sur un grand nombre de roues des cercles se détacher, parce que les rivets n'étaient pas suffisamment coniques, ou parce qu'ils ne l'étaient pas sur toute l'épaisseur du cercle.

Quand les roues sont envoyées de l'usine calées sur les essieux, il faut s'assurer que le calage a été fait avec soin. Des roues mal calées peuvent, en se détachant de l'essieu, occasionner de graves accidents.

L'alesage du moyeu et le tournage de l'essieu doivent être faits sur calibre avec la plus rigoureuse exactitude; le serrage doit être tel, qu'il faille un effort d'environ 40,000 kilogrammes pour faire

pénétrer l'essieu dans le moyeu. Les clavettes sont, dans ce cas, à peu près inutiles.

Les roues jumelles, c'est-à-dire celles qui sont portées par un même essieu, doivent être exactement du même diamètre.

On pourrait admettre une différence de diamètre dans les roues portées par des essieux différents ; toutefois il convient d'exiger que toutes les roues sans exception soient rigoureusement du même diamètre, afin que des roues fixées sur un essieu puissent servir, au besoin, comme roues de rechange pour d'autres essieux.

Il importe que la conicité des roues soit bien telle que l'ingénieur l'a prescrite, et qu'elle soit exactement la même pour toutes les roues.

Un seul et même gabarit en tôle (fig. 425) peut servir à mesurer l'inclinaison des jantes et à constater que l'écartement des roues jumelles est invariable.

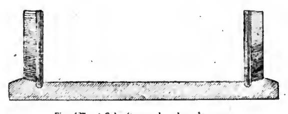


Fig. 425. — Gabarit pour le calage des roues.

Les roues en fer montées sur leurs essieux, avec bandages ordinaires de bonne qualité, valent aujourd'hui $0^f,75$ le kilogramme.

Une boite à graisse, avec les fusées très-grandes, vaut actuellement de 25 à 30 francs.

Ressorts. — La bonté des ressorts dépend essentiellement de la qualité de l'acier employé, du choix judicieux des formes et de leur bonne exécution. La construction des ressorts étant maintenant concentrée dans quelques maisons importantes et offrant des garanties sérieuses, l'ingénieur devra se borner à fixer les conditions de flexibilité, de charge et de longueur à remplir par chaque ressort, et à imposer aux fabricants des pénalités assez sévères pour le cas de mauvaises fournitures. Les ressorts en acier fondu

se vendent aujourd'hui à Paris 1f,50 le kilogramme. Il n'y a pas dix ans que ceux en acier de cémentation valaient 2f,40.

On essaye les ressorts en les redressant à froid au moyen d'une presse. Ils doivent, quand ils sont ensuite abandonnés à eux-mêmes, reprendre leur forme primitive, à peu de chose près, lors d'une première épreuve, rigoureusement lors des épreuves suivantes.

Caisses. — S'il convient, pour toute espèce d'objets, de choisir un fabricant qui non-seulement s'engage à les fournir de première qualité, mais qui soit en état de remplir ses engagements, cela est surtout essentiel pour la confection des caisses de voitures.

Nécessité d'employer des bois bien secs. — La parfaite siccité des bois étant une des premières conditions du bon établissement du matériel, c'est aux carrosseries pourvues de dépôts anciens et considérables que l'on doit exclusivement s'adresser pour cette construction.

Malheureusement les délais de livraison sont en général si courts et les échantillons de bois varient tellement d'un matériel à un autre, que cette condition est rarement remplie.

Nature des bois. — Pour les châssis, on emploie le bois de chêne; pour le bâti des caisses, les brancards, les pavillons, les montants, le frêne; pour les parcloses et les dossiers, on se sert de grisard, espèce de peuplier blanc de Hollande; pour l'impériale, du même bois ou du sapin.

Quelquefois on emploie le hêtre pour les montants et battants de portières, mais c'est un bois qui exige des soins tout particuliers pour ne pas s'échauffer avant d'être sec. Le meilleur bois pour les châssis de fenêtres est le hêtre. L'acajou se fend trop facilement lorsqu'il n'est pas très-épais.

Depuis quelques années on a, sur certains chemins, remplacé les panneaux en tôle par des panneaux en bois de *teak*, espèce de bois d'acajou. Le teak a sur les autres bois l'avantage de ne pas se fendre et de permettre le remplacement de dix à douze couches de peinture par une seule couche de vernis. Mais il est coûteux et on lui reproche d'être cassant et de laisser passer l'eau par les joints. Les ingénieurs sont donc partagés sur la question de savoir s'il convient de le substituer à la tôle.

Caractères des bois secs. — Le bois sec se reconnaît surtout au poids et aussi un peu à la vue. Une sciure légère, fine et poudreuse, est un indice assez certain de siccité. On peut encore apprécier la siccité des bois par le simple toucher d'une poignée de copeaux.

Le chêne, le frêne, l'orme et le grisard doivent avoir de trois à quatre ans de coupe.

On ne se sert guère de noyer que pour les panneaux des voitures de particuliers. C'est un bois qu'il est très-difficile de se procurer suffisamment sec.

Il faut qu'il ait cinq ou six ans au moins d'abattage.

Au chemin d'Aix-la-Chapelle, on a employé, pour la construction des voitures, des bois d'une année de coupe seulement séchés à la vapeur; mais le bois ainsi préparé perd toujours de sa ténacité.

Les bois doivent être débités en plateaux le plus longtemps possible avant d'être mis en œuvre.

Il convient aussi de laisser les voitures montées en blanc exposées à l'air pendant un certain temps avant de poser la peinture. L'ingénieur doit d'ailleurs exiger qu'elles lui soient présentées d'abord dans cet état, afin qu'il puisse en reconnaître aisément les défauts.

Tôle employée pour les panneaux. — La tôle des panneaux n'a souvent qu'un demi-millimètre d'épaisseur. Au chemin de Strasbourg à Bâle, toutefois, on a trouvé que, le dressage de la tôle mince valant plus que la matière, il y avait économie à employer des tôles de plus d'un millimètre.

La tôle préférée à Paris pour les panneaux est de l'espèce dite tôle anglaise dans le commerce.

Peinture des caisses. — Les caisses de voitures sont ordinairement recouvertes de cinq à sept couches d'apprêt : d'une couche de gris, de deux couches de teinte, d'un glacis à la laque carminée, de deux couches de vernis à polir et de deux couches de vernis à finir.

Il est très-important de ne poser une nouvelle couche de peinture que lorsque celle qu'elle doit recouvrir est déjà parfaitement sèche.

Le temps nécessaire pour sécher chaque couche est très-variable : il dépend de la saison et de l'exposition des ateliers.

La peinture ne peut être bonne qu'autant que la céruse qui en forme la base est de première qualité.

Il faut aussi que la peinture proprement dite soit convenablement choisie. Ainsi le vert-de-gris est préféré au vert de Scheele; pour les teintes jaunes, on emploie le jaune de chrome, soit orangé, soit jaune clair; pour toutes les teintes bleues, le bleu de Prusse; pour les teintes brunes, le rouge de Van Dyck mélangé, suivant les teintes, de noir d'ivoire, de terre d'ombre ou de terre de Cologne, avec jaune d'ocre ou terre de Sienne.

On peut exiger du fabricant qu'il garantisse que la peinture des voitures se conservera pendant huit mois au moins sans gerçures.

Il importe, pour que le fabricant ait le temps de débiter et de laisser sécher les bois et les couches de peinture, que les voitures soient commandées six mois d'avance au moins.

Il convient aussi que les voitures soient fabriquées, s'il est possible, plutôt en été qu'en hiver.

Les voitures en bois de teak sont seulement vernies ; c'est là un grand avantage, car, quand elles en trenten réparation, les voitures en bois ordinaire et tôle exigent souvent plus de temps pour les raccords de peinture que pour la réparation proprement dite.

Nature des fers. — Les ferrures du châssis doivent être de bonne qualité; mais il n'est pas indispensable que toutes les pièces soient en fer fabriqué au charbon de bois et au marteau, comme l'exige le cahier des charges pour les voitures de plusieurs chemins de fer. Il serait tout au plus nécessaire d'imposer cette condition au fabricant pour la partie des ferrures la plus exposée à la fatigue.

Les chaînes d'attelage doivent être en bon fer à câble.

Nature du crin et quantité. — La quantité de crin pour chaque caisse d'une diligence peut être réduite à 55 ou 60 kilogrammes, moyennant certaines dispositions intérieures qui consistent à soutenir la garniture par de fortes toiles tendues énergiquement.

Le crin doit être de première qualité, coûtant de $3^{f},50$ à 4 fr. le kilogramme à Paris.

Dans les voitures de 2e classe, on remplace quelquefois en grande partie le crin par des étoupes ou du crin végétal.

Draps. — Sur plusieurs chemins des environs de Paris, le drap que l'on a préféré pendant longtemps pour garnir les diligences est le drap d'Elbeuf bleu bien serré, coûtant de 12 à 14 francs le mètre. Ce drap est sujet à blanchir.

Maintenant on emploie de préférence le drap noisette, dont la couleur est plus agréable, moins sujette à s'altérer, et dont le prix n'est que de 11 à 12 francs le mètre.

CHAPITRE XI

DES MOTEURS.

Nous avons dit précédemment que l'on emploie comme moteurs, sur les chemins de fer, les chevaux, la force naturelle de la gravité, les machines, fixes ou locomotives.

MOTEUR ANIMAL.

Chevaux. — On ne fait aujourd'hui usage de chevaux que sur les chemins de fer établis pour desservir les mines ou les usines, ou pour les travaux de terrassement.

Un cheval de force moyenne exerçant un effort de 50 kilogrammes, traîne au pas, sur un chemin de fer de niveau et rectiligne en bon état, dans des waggons bien construits et bien entretenus, une charge de 8 à 10 tonnes, poids brut, c'est-à-dire un peu plus de huit fois ce qu'il traînerait sur une route ordinaire en bon état; il peut, en traînant cette charge, travailler dix heures par jour.

La vitesse augmentant, son travail utile diminue; ainsi il est reconnu que ce même cheval, marchant au trot, n'exercera plus qu'un effort de moitié. La vitesse sera doublée; mais il ne pourra plus travailler que quatre heures par jour.

Nous indiquerons plus loin comment, connaissant la charge que le cheval peut traîner en plaine, on peut calculer celle qu'il est en état de remorquer sur une rampe d'inclinaison donnée.

Les voies de fer pour les terrassements n'étant ni posées ni entretenues avec le même soin que les voies définitives, la charge

traînée par un cheval sur des voies de ce genre ne sera plus que de 6 à 8 tonnes, au lieu de 8 à 10.

PLANS AUTOMOTEURS.

En général, les chemins de fer établis pour transporter les produits des mines vers les points d'embarquement ont une pente assez prononcée de la mine vers l'autre extrémité de la ligne. Sur les points où cette pente atteint de 25 à 30 millimètres par mètre, on établit avec avantage des *plans automoteurs*.

Des freins placés sur l'axe de la poulie, ou sur celui du treuil, servent à en modérer la vitesse ou à les arrêter au besoin; mais il se peut qu'on arrête la poulie sans que pour cela le convoi, entraîné par une force supérieure, cesse de marcher; dans ce cas, la corde glisse. Quand au contraire le treuil cesse de tourner, le convoi, si le câble ne casse pas, cesse forcément d'avancer. En conséquence, on préfère les treuils aux poulies sur des plans très-inclinés où l'excès de gravité est considérable.

La figure 424 indique la disposition d'une poulie de plan automoteur avec son frein.

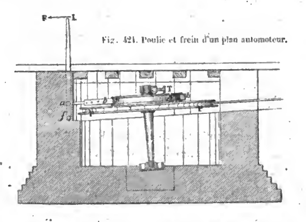


Fig. 424. Poulie et frein d'un plan automoteur.

Le diamètre de la poulie PP est égal à l'écartement d'axe en axe des deux voies établies au sommet du plan. Elle est venue de fonte avec une seconde poulie *pp* à gorge plate, tournée avec soin. Une



bande de fer méplat très-flexible *b*, coudée en fer à cheval, entoure une moitié de la poulie *pp*; elle est garnie de tasseaux en bois dans sa partie curviligne qui suit le pourtour de cette poulie. Par l'une de ses extrémités, cette bande de fer est fixée à la cuve en maçonnerie dans laquelle est logé l'appareil; son autre extrémité est articulée en *a* au levier L, dont le point fixe *f* est également pris sur la maçonnerie. En exerçant sur le levier L un effort dirigé dans le sens de la flèche F, on applique la garniture en bois de la bande de fer contre la gorge de la poulie *pp*, et l'on produit ainsi un frottement qui entrave ou même arrête complétement le mouvement de la poulie PP, et par conséquent du câble.

L'axe de la poulie tourne à sa partie inférieure dans une crapaudine, à sa partie supérieure dans un palier fixé sur la traverse T. Il est incliné en arrière, de telle sorte que les deux leviers du câble, partant d'une certaine profondeur au-dessous du sol, arrivent au niveau des rails au sommet du plan incliné. En ce point, ils s'infléchissent chacun sur une poulie de renvoi à axe horizontal, et suivent la pente de la voie. A l'aide de cette disposition, la poulie peut être placée au-dessous du sol à une profondeur assez grande pour ne pas être gênée par les rails et les traverses, et le câble acquiert près de la poulie une tension telle, qu'il ne fouette pas et ne risque pas de quitter la gorge.

Sur un plan incliné établi à Rive-de-Gier, on se sert d'un frein très-puissant qui mérite une mention particulière. Ce frein est composé de deux meules de moulin placées sur un axe commun vertical. Le convoi marchant, la meule supérieure est pour ainsi dire suspendue au-dessus de la meule inférieure. Veut-on faire agir le frein, on fait, au moyen d'un système de leviers, glisser la meule supérieure sur l'axe, de manière qu'elle vienne s'appuyer sur la meule inférieure. Le frottement qui a lieu alors entre les deux meules arrête le convoi.

Les cordages sont en chanvre ou en fil de fer. Les cordages en fil de fer sont préférés.

On s'est aussi servi de chaînes en fer; elles sont plus économiques que les cordages, à cause de leur longue durée, mais elles sont plus lourdes et plus sujettes à se briser subitement. Une

simple paille, dans un des anneaux, suffit pour en occasionner la rupture.

Le waggon placé en tête du convoi est fixé au câble par un anneau dans lequel pénètre un crochet attenant au câble.

Quelquefois on emploie des crochets à pièces mobiles, au moyen desquels on peut séparer brusquement le convoi du câble, dès qu'il est arrivé au sommet ou au bas du plan incliné.

Les cordages reposent de distance en distance sur de petites poulies fixes (fig. 425 et 426), établies au milieu des voies. Dans le

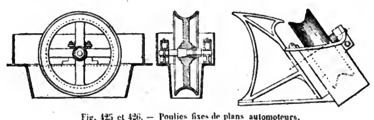


Fig. 425 et 426. — Poulies fixes de plans automoteurs.

haut du plan, où l'amplitude des oscillations de la corde est la plus grande, on se sert de rouleaux en bois, au lieu de poulies en fonte. Dans les courbes on emploie des poulies dont l'axe est incliné à l'horizon (fig. 426), ou des poulies dont l'axe est vertical.

Quelquefois on établit deux voies dans toute la longueur du plan automoteur, du sommet S au pied P (fig. 427). Le câble étant alors développé sur une des voies V', l'un des crochets est attaché au convoi le moins chargé K', l'autre crochet au convoi le plus chargé K. Le convoi K étant abandonné à lui-même, descend sur la voie V en entraînant le cordage et faisant remonter le convoi K' sur la voie V'. Le convoi K arrivant au bas du plan automoteur, le convoi K' arrive au sommet, et c'est alors sur la voie V, au lieu de la voie V', que la corde est détendue. Si la voie V est la voie d'allée sur laquelle les machines ou les chevaux marchent dans le sens de la flèche F, le convoi K reste en s'éloignant du plan automoteur sur la voie V, et un nouveau convoi de waggons vides, arrivé sur la voie V', passe au moyen du changement de voie N'N sur la voie V. Au sommet du plan le convoi K' reste sur la voie V', et un nouveau convoi plein, arrivé sur la voie V, passe au moyen du changement

de voie M'M sur la voie V'. Tout est prêt pour que le plan automoteur fonctionne de nouveau, et c'est alors sur la voie V' que le convoi descend, et sur la voie V qu'il remonte. Le convoi arrivé au bas du plan passe sur la voie V au moyen du changement de voie N'N', et celui arrivé au sommet sur la voie V au moyen du changement de voie M'M.

Il n'est pas absolument nécessaire de poser deux voies dans toute l'étendue du plan automoteur. En Angleterre, les voies sur les plans automoteurs sont généralement disposées comme l'indique la figure 428. On pose alors trois files de rails seulement dans le haut du plan; on ne pose une double voie que dans le milieu, où les convois montants et descendants se croisent, puis on établit une simple voie dans le bas; en R et R' on établit deux aiguilles mobiles liées par une bielle transversale, de manière à rester constamment parallèles comme celles des changements de voie ordinaires. Il est facile, en se rendant compte du jeu du plan automoteur, de comprendre que, les rails étant ainsi placés, le service se fait tout aussi bien qu'avec une double voie sur toute la longueur.

Fig. 427. — Plan automoteur à deux voies.

Fig. 428. — Plan automoteur système anglais.

Supposons effectivement la corde développée, sur la voie $V''V_1V$ (fig. 428) un convoi faiblement chargé ou vide K' attaché au bas de cette corde, et un convoi très-chargé ou plein K attaché dans le haut. Les aiguilles étant alors disposées de manière à laisser la voie V_1 ouverte, le convoi K' montant, arrivant en RR', passe dans cette

voie V_1 pour ensuite suivre la voie V'' jusqu'au sommet du plan automoteur. Le convoi descendant K suit d'abord la voie V'; il passe ensuite tout naturellement dans la voie V_2 pour croiser le convoi montant; puis il arrive à l'emplacement des aiguilles; le boudin de l'une des roues d'avant du premier waggon du convoi chasse en passant l'aiguille R sur le côté, et celle R', qui est solidaire; de telle façon qu'après le passage du convoi c'est la voie V_2 qui est ouverte et celle V_1 qui est fermée; le convoi K, après avoir passé les aiguilles, descend enfin sur la voie V jusqu'au bas du plan. La corde est alors développée sur la voie $V'V_2V$, au lieu de l'être sur la voie $V''V_1V$, et le service pour deux nouveaux convois montants et descendants sur le plan automoteur se fait comme pour les convois K et K', avec cette seule différence que le convoi montant suit cette fois la voie VV_2V', au lieu de suivre la voie VV_1V'', et le convoi descendant la voie $V''V_1V$, au lieu de la voie $V'V_2V$.

Nous avons supposé, pour simplifier l'explication, des aiguilles semblables aux aiguilles ordinaires; cependant on préfère généralement à ces aiguilles en métal, établies dans le même plan que les rails, de grandes aiguilles en bois placées au-dessus, comme nous allons l'expliquer. Les aiguilles en bois, faisant en même temps office de *contre-rails*, s'opposent efficacement au déraillement qui pourrait avoir lieu au moment du changement brusque de direction.

Lorsqu'on emploie les aiguilles en bois, les files de rails *a b* et *c d* (fig. 429) se terminent en *b* et *d*, de manière à laisser subsister deux petites lacunes assez larges pour que puisse passer le boudin d'une roue seulement. Deux tasseaux *o* et *o'*, fixés à une traverse, sont placés au milieu des angles *c d g* et *a b f*; la surface supérieure de ces tasseaux est dans le plan de la surface de roulement des rails. Sur ces tasseaux reposent les extrémités de deux grandes aiguilles en bois garnies de bandes de fer *x x' y y'*. Ces aiguilles sont parallèles. Une bielle transversale en fer maintient leur parallélisme. Étant disposées comme l'indique la figure, Il est évident qu'elles interceptent la voie V_1, et laissent ouverte la voie V_2. Il est évident aussi que, placées au-dessus des rails sur lesquels elles reposent, elles peuvent servir, comme un contre-rail, à empêcher le déraille-

ment du côté où il tendrait à avoir lieu, c'est-à-dire de gauche à droite.

Ces aiguilles en bois, comme celles en fer, sont chassées de côté par les convois pleins descendants; elles tournent alors sur leurs boulons de jonction aux tasseaux en glissant sur la surface de roulement des rails, et elles prennent la nouvelle position indiquée en lignes ponctuées. Leur mouvement est limité par deux autres tasseaux tt'.

Il faut, dans le haut des plans automoteurs, contenir quelquefois les convois chargés, qui pourraient commencer à descendre avant que le convoi vide fût attaché à la corde ou avant que les conducteurs de waggons fussent à leur poste. On emploie pour cela des tasseaux mobiles, qui servent au besoin à barrer les voies. Les figures 430 indiquent la disposition de ces tasseaux.

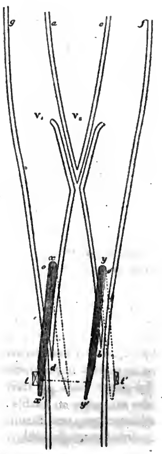


Fig. 429. Aiguilles en bois pour plan automoteur.

Pour faciliter le départ des convois pleins, il convient d'augmenter l'inclinaison des plans automoteurs dans le voisinage du sommet. Souvent aussi on donne au chemin de fer, un peu avant le pied du plan, une pente en sens inverse. Les waggons du convoi montant placés sur cette contre-pente entrent plus facilement en mouvement que s'ils se trouvaient sur une partie de niveau.

Lorsque les plans automoteurs ont une certaine longueur, il faut établir un appareil pour faire parvenir du bas au sommet l'avis que les waggons montants sont attachés à la corde. On emploie pour cela une petite corde ou un fil de fer posé sur des supports dans toute la longueur du plan incliné. On fait mouvoir, avec cette corde ou ce fil de fer, un signal quelconque ou encore on agite une sonnette. On peut aussi se servir d'un disque placé dans le bas du plan, et que l'on tourne dans un sens ou dans l'autre; mais souvent, dans les temps de brouillards, ce disque pourrait ne pas être aperçu. On peut enfin faire usage du télégraphe électrique, qui est le moyen le plus exact.

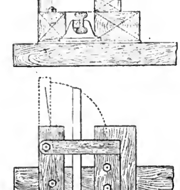


Fig. 450. — Tasseaux d'arrêt.

Nous avons supposé que le câble employé sur le plan automoteur était discontinu; on pourrait aussi employer un câble sans fin. Il faudrait alors poser trois files de rails dans le bas comme dans le haut du plan, et se ménager le moyen de donner au câble une certaine tension en rendant l'une des poulies mobile. On pourrait, à cet effet, adopter une disposition analogue à celle que nous décrirons en parlant du plan incliné à machine fixe de Liége.

En posant deux ou trois files de rails seulement au lieu de quatre sur partie ou totalité des plans automoteurs et des plans à machines fixes, on diminue les frais d'établissement, mais on augmente l'usure du câble en le forçant à changer de direction, et les waggons, en cas de rupture des câbles, peuvent se rencontrer; c'est ce qui a conduit à poser généralement en France deux voies sur toute l'étendue des plans inclinés.

Les chariots descendants devant, au moment du départ, traîner la corde entière, il convient, pour éviter qu'ils aient alors un effort excessif à exercer, de ne pas donner aux plans automoteurs une longueur trop considérable. En général, si la longueur du chemin

à parcourir dépasse 1,600 mètres, on la divise en plusieurs plans automoteurs séparés par des paliers de 90 à 100 mètres. C'est ce qu'on a fait au chemin de Hetton, dont nous avons décrit le tracé dans le premier volume, page 231.

La longueur d'un plan automoteur étant donnée, ainsi que le rapport des charges qui le parcourent dans un sens et dans l'autre, le poids, le frottement des cordes et enfin le frottement des chariots, etc., on peut calculer quelle est la limite de pente sur laquelle un certain nombre de chariots pleins pourront remonter un nombre égal de chariots vides.

L'expérience apprend que, pour que quatre chariots chargés pesant ensemble 16,000 kilogrammes puissent remonter quatre chariots vides pesant 4,600 kilogrammes en toute saison sur un plan automoteur de 1,000 mètres de longueur, la pente doit être au moins de 2 et demi centièmes[1].

M. Michel Chevalier, dans le grand et bel ouvrage qu'il a publié, en 1840 et 1841, sous le titre d'*Histoire des voies de communication aux Etats-Unis*, décrit un plan automoteur sur lequel on fait monter des trains chargés de charbon au moyen de trains descendants composés de chariots en tôle remplis d'eau. L'eau est fournie au sommet du plan par une source; elle est élevée par une pompe dans un réservoir d'où on la conduit dans les chariots. Les caisses des chariots se vident au bas du plan.

Déjà en 1832, dans un rapport à l'Association polytechnique, nous indiquions l'emploi que l'on pourrait faire d'un moyen semblable sur les plans automoteurs dans les termes suivants : « Les écluses d'un canal consomment une quantité d'eau énorme. Une faible partie de cette eau précieuse suffirait pour développer économiquement sur un chemin de fer la force mécanique nécessaire, au moyen de roues à augets, ou, mieux encore, de machines à colonne d'eau. Peut-être aussi se servirait-on avec avantage de chariots que l'on remplirait d'eau au sommet des plans inclinés, que

[1] M. Wood a trouvé par le calcul que sur un plan automoteur de 1.600 mètres de longueur dont la pente ne serait que de deux centièmes, neuf chariots chargés remorqueraient un nombre pareil de chariots vides en 400 secondes; mais il fait observer que cette valeur ne pourrait être admise dans la pratique que si tout le système était en parfait état, ce qui n'est pas le cas ordinaire.

l'on attacherait à la suite des convois en retour à vide, et qui réagiraient, par l'intermédiaire de cordes et de treuils, sur les convois ascendants; on laisserait écouler l'eau dans la vallée au pied du plan incliné, et on ramènerait les chariots à vide à la suite des convois ascendants.

« Cette application de l'eau comme force motrice sur les chemins de fer n'a pas encore eu lieu; mais nous citerons la ligne du canal du Languedoc comme une de celles où l'on eût trouvé de l'avantage à établir un chemin de fer au lieu d'un canal en utilisant la force mécanique de l'eau.

« Si l'eau ne se trouvait pas en quantité suffisante au sommet des pentes, on pourrait en élever une certaine quantité des parties inférieures assez économiquement au moyen de moulins à vent. Il se pourrait même qu'il y eût plus d'économie, dans certains cas, à élever de l'eau motrice au moyen d'une machine à vapeur de force moyenne, travaillant continuellement pendant la nuit pour les besoins de la journée, plutôt que d'employer à remorquer les convois directement des machines qui alors doivent développer une grande force à différents moments de la journée. »

Plus tard, M. Robert Stephenson proposait de faire le service de plans automoteurs dans les régions montagneuses de la Suisse de la même manière; mais nous pensons que ce système ne saurait trouver son application sur des lignes destinées au transport des voyageurs. En général, les plans automoteurs sont tout à fait exclus des chemins qui ne sont pas consacrés uniquement au transport des marchandises.

Nous avons déjà eu l'occasion, au chapitre du *Tracé*, d'indiquer que l'usage des machines fixes, comme moteurs sur les chemins de fer, était aujourd'hui assez limité [1].

Ces machines transmettent le mouvement aux convois soit au moyen de cordages, soit à l'aide d'un piston glissant dans un tube établi au milieu de la voie tout le long du chemin.

Le premier mode de traction prend le nom de *système funicu-*

[1] Nous ne parlerons dans ce chapitre que des plans inclinés établis dans le système funiculaire. Nous décrirons ceux qui fonctionnent dans le système atmosphérique au chapitre intitulé : *Des nouveaux systèmes de waggons et de locomotion.*



laire, le second de *système atmosphérique*. Nous décrirons d'abord le système funiculaire.

SYSTÈME FUNICULAIRE.

Parmi les plans inclinés desservis par des machines fixes dans le système funiculaire, celui de Liége à Ans, en Belgique, peut être cité comme un de ceux qui ont été le mieux établis. Nous le décrirons donc comme l'un des meilleurs modèles existants; mais, auparavant, nous dirons quelques mots de l'emploi qui a été fait, par M. Robert Stephenson, de machines fixes sur un chemin de fer en plaine placé dans des conditions uniques, celui de Londres à Blackwall.

Emploi du système funiculaire sur le chemin de Blackwall. — Ce chemin, construit sur arcades, pour ainsi dire dans l'intérieur même de la ville de Londres, a une longueur de 6,300 mètres seulement, et, le nombre des stations sur cette courte distance étant de cinq, on a pensé qu'il ne serait pas possible de faire le service avec des locomotives : le parcours entre chacune des stations paraissait trop faible pour que ces machines pussent marcher avec une certaine vitesse. Il était également impraticable de remorquer les convois avec des machines fixes en s'arrêtant à chaque station pour déposer des voyageurs ou pour en prendre. M. Robert Stephenson imagina alors d'établir à chacune des extrémités de la ligne une puissante machine fixe, chacune de ces machines faisant tourner deux tambours de grand diamètre en sens contraire l'un de l'autre. Un cordage en fil de fer s'étendait tout le long de la voie, d'un des tambours de l'une des machines placé vis-à-vis d'une des deux voies, au tambour de l'autre machine placé à l'autre extrémité de la même voie. Ce cordage s'enroulait sur un des tambours et se déroulait sur l'autre. Chacun des waggons qui devaient être traînés de Londres à Blackwall, ou de Blackwall à Londres (fig. 431), et chacun de ceux qui devaient être conduits d'une station à l'autre, ou d'une station à l'extrémité de la ligne, était attaché à l'un des cordages au moyen d'un crochet à pince, d'une construction particulière.

Ainsi, soient LL′ la station de Londres, BB′ celle de Blackwall; soient LB et L′B′ les deux cordages, soient CDEFH les stations intermédiaires; admettons que le cordage L′B′ soit complétement enroulé sur le tambour L′, tandis que le cordage LB est enroulé sur le tambour B : les choses étant dans cet état, on attachait au câble L′B′, à chacune des stations LCDEFH, autant de waggons qu'il y avait de stations à desservir dans la direction L′B′, suivant laquelle le convoi allait marcher. Chaque waggon ne contenait que les voyageurs allant à la même station, et les voyageurs des stations les plus éloignées du point de départ se trouvaient en tête du convoi.

Fig. 431. — Plan incliné de Londres à Blackwall.

Le convoi de Londres étant prêt, ainsi que ceux des stations intermédiaires, le signal en était donné aux deux extrémités au moyen du télégraphe électrique, et les deux machines commençaient à fonctionner. Chacun des waggons portant un conducteur était détaché subitement de la corde un instant avant d'arriver à la station où il devait déposer ses voyageurs, sans que pour cela les autres waggons cessassent de marcher; il passait dans une des voies de garage *c*,*d*,*e*,*f*,*h*,*b*, dont l'aiguille était convenablement disposée, et sur laquelle le conducteur l'arrêtait au moyen d'un frein. De cette manière, le waggon ou les waggons placés en tête du convoi à Londres, portant les voyageurs pour Blackwall, arrivaient après avoir laissé en route les waggons postérieurs portant les voyageurs des stations intermédiaires.

Le service se faisait de la même manière en sens contraire de Blackwall à Londres sur l'autre voie.

Les convois partaient de cinq minutes en cinq minutes, comme partaient les omnibus avant l'établissement du chemin de fer. Ce service était très-dispendieux, puisqu'il nécessitait un waggon pour

les voyageurs de chaque station, n'y en eût-il qu'un seul, et un conducteur pour chaque waggon : aussi a-t-il été abandonné depuis quelques années pour faire place à un service par locomotives.

Plans inclinés de Liége. — Nous avons déjà parlé du tracé des plans inclinés de Liége [1].

Nous avons dit qu'ils sont au nombre de deux, rachetant chacun la même hauteur (55 mètres) au moyen de la même longueur (1,980 mètres) et des mêmes pentes convenablement et diversement graduées sur chacun d'eux, le maximum étant de $0^m,30$, le minimum de $0^m,14$.

Ils sont séparés par un palier de 330 mètres, dont 32 dans l'alignement du plan supérieur, 182 en courbe de 330 mètres de rayon et 66 dans l'alignement du plan inférieur. Ces deux alignements forment un angle de 52°. Ils se prolongent également selon deux paliers, l'un au sommet du premier plan, l'autre au pied du second.

Les plans inclinés de Liége sont établis sur toute leur longueur à deux voies, l'une pour la descente, l'autre pour la remonte.

Il y a en outre, au pied de chaque plan, une gare d'évitement pour recevoir les convois qui descendraient avec une trop grande vitesse.

Il existe une gare semblable au sommet du premier, et l'on y loge les voitures abandonnées sur le plateau supérieur, de peur qu'elles ne soient lancées à la descente sans conducteur.

Ces gares communiquent avec la voie principale par une aiguille mise en jeu à l'aide d'un contre-poids que le garde-excentrique soulève au moment du passage du convoi. En outre, comme mesure de précaution et pour s'opposer aux déraillements, la voie descendante est munie intérieurement de contre-rails en bois.

La circulation des convois s'effectue toujours sur la voie de droite dans le sens du mouvement. La gravité suffit à la descente. On pousse les convois à l'aide d'une locomotive sur la pente, et on les abandonne à leur propre poids, dont toutefois on modère l'action à l'aide de freins convenablement disposés.

[1] Voir la description de ces plans, *Annales des ponts et chaussées*, année 1843, p. 129.

A la remonte, le mouvement est déterminé par des machines à vapeur fixes, qui font agir un câble auquel on attache les convois.

Ces machines sont placées sur le palier horizontal. Le bâtiment qui les renferme se trouve au sommet de l'angle des deux alignements; il est rectangulaire, et son grand axe divise cet angle en deux parties égales. Les machines sont à basse pression et construites sur le modèle de celles des bateaux, c'est-à-dire que le balancier, placé sur le sol au niveau de la base des cylindres, reçoit son mouvement de bielles fixées à la tête de la tige du piston et le transmet par une autre bielle à un axe coudé. Elles sont alimentées par six chaudières, de la forme de *celles dites à tombeau*, et qui présentent dans leur intérieur deux conduits longitudinaux dans lesquels passe la fumée avant de se rendre dans la cheminée. Le bâtiment qui renferme ces chaudières est placé vis-à-vis celui des machines dans la concavité de la courbe de raccordement.

Les machines sont au nombre de quatre; leur force nominale est de 80 chevaux. Elles sont placées d'une manière symétrique autour des deux axes du bâtiment et groupées deux à deux de manière à ne former réellement que deux machines doubles comme celles à deux cylindres des bateaux à vapeur. Chacune de ces machines doubles agit au moyen de deux manivelles à angle droit sur un arbre moteur horizontal perpendiculaire au grand axe du bâtiment, et, par suite, parallèle à la voie du milieu du palier.

A chaque extrémité des deux grands arbres sont placées les poulies motrices sur lesquelles s'enroulent les câbles de traction. Ces poulies ont $4^{m},80$ de diamètre de centre en centre des gorges. Elles portent chacune cinq gorges et une jante cylindrique destinée à recevoir l'action d'un frein. Elles sont réunies en deux couples, de même que les cylindres à vapeur, mais inversement à ceux-ci, de sorte que deux poulies d'un même couple sont placées sur deux arbres différents et se trouvent du même côté du grand axe du bâtiment sur une même parallèle à cet axe.

L'un de ces couples sert à la traction sur le plan incliné supérieur, l'autre sur le plan inférieur. A cet effet, un câble sans fin en fil de fer, de $0^{m},05$ de diamètre sur 4,800 mètres environ de longueur, se trouve placé selon l'axe des voies montante et descen-

dante de chacun des plans inclinés, soutenu de 10 en 10 mètres par des poulies de $0^m,35$ de diamètre.

Pour le plan inférieur, par exemple (fig. 452), le câble, arrivé au sommet de la montée, s'infléchit comme la voie, et la suit horizontalement jusqu'à l'origine de la courbe de raccordement; là il pénètre sous le sol, et par un conduit souterrain arrive sur une poulie de renvoi P, de $4^m,80$ de diamètre, placée horizontalement devant le bâtiment des machines, vis-à-vis des poulies motrices et à la hauteur de la partie inférieure de leur circonférence; il vient alors s'enrouler par-dessous sur la première gorge de la deuxième poulie motrice, qu'il embrasse pendant une demi-circonférence, puis il passe dans la première gorge de la première poulie, d'où il s'échappe aussi, après un contact d'une demi-circonférence, pour se diriger sur la deuxième gorge de la seconde poulie, et ainsi de suite. Au sortir de la cinquième gorge de la première poulie, il se trouve à la partie inférieure, et va s'enrouler en dehors et en arrière du bâtiment des machines sur une poulie de renvoi horizontale R de 7 mètres de diamètre, portée sur un chariot mobile dont nous indiquerons bientôt l'usage. Après quoi il revient parallèlement à sa précédente direction, mais en sens inverse, passe par une nouvelle poulie de renvoi horizontale P′ de $3^m,50$ de diamètre, à axe fixe, placée à côté de la première; le câble est ainsi ramené sur l'axe de la voie descendante, qu'il parcourt dans toute son étendue comme il a fait déjà de la voie ascendante; enfin il s'enfonce de nou-

Fig. 452. — Plan incliné de Liége.

veau sous le sol à 15 mètres environ du plan incliné, et, s'enroulant sur une dernière poulie de renvoi horizontale dont le diamètre mesure l'écartement des voies d'axe en axe, il se retrouve, selon l'axe de la voie montante, au même point où nous avons commencé à le suivre.

Le câble du plan supérieur reçoit de la même manière le mouvement du second couple de poulies.

Toutefois, dans ce cas, la machine, au lieu d'agir en tirant de bas en haut le câble de la voie ascendante, tire au contraire de haut en bas celui de la voie descendante, qui réagit sur le premier au moyen de la poulie horizontale du sommet.

Le chariot mobile que nous avons mentionné tout à l'heure est destiné à conserver au câble une tension constante : il est porté sur quatre roues montées sur deux essieux, dont le premier porte en outre deux petites poulies de support destinées à soutenir le câble à la hauteur de la gorge de la poulie de renvoi. Il peut rouler sur un chemin de fer légèrement incliné, et dont la pente tend à l'éloigner constamment des machines; il y est en outre sollicité par un poids de 7,000 kilogrammes, qui peut se mouvoir verticalement dans un puits de 30 mètres de profondeur, et auquel il est lié par une forte chaîne en fer.

Il est indispensable, pour éviter un glissement nuisible du câble sur les deux poulies motrices d'un même couple, que celles-ci se meuvent exactement avec la même vitesse. C'est ce qu'on ne saurait obtenir si les deux arbres donnaient à la fois le mouvement. Il importe donc de pouvoir rendre les poulies indépendantes des arbres moteurs. C'est pourquoi chacune d'elles est montée sur un manchon à coulisse muni d'un collier, qui, formant l'écrou de deux vis à extrémités fixes, prend un mouvement de translation quand celles-ci en reçoivent un de rotation, au moyen d'une vis sans fin dont la manivelle est à la disposition du mécanicien.

Quand les deux machines doubles sont en bon état, chacune d'elles est affectée au service particulier d'un plan incliné. Dans ce cas, la poulie droite du premier arbre est embrayée ainsi que la poulie gauche du second. Mais, si l'une des machines était en réparation, l'autre suffirait au service : il n'y aurait en effet qu'à dé-

brayer complétement les deux poulies du premier arbre et à embrayer successivement celles du second. On pourrait même laisser celles-ci constamment embrayées, ce qui n'aurait d'autre inconvénient que de faire marcher un câble sans charge.

Si l'on se rappelle les circonstances des passages successifs du câble de la seconde à la première poulie d'un même couple, on comprendra que, pour qu'une telle alternance puisse se produire sans obliquité du câble, il faut que les parties supérieures des gorges de même rang se correspondent dans les deux poulies, et qu'au contraire les parties inférieures soient en avance d'un rang dans la seconde. Chaque poulie doit donc avoir, par rapport à la verticale, une inclinaison moitié de leur inclinaison mutuelle, c'est-à-dire mesurée par le rapport de la demi-distance des gorges ($0^m,05$) au diamètre des poulies ($4^m,80$). Telle est par suite l'inclinaison de chaque arbre, de chaque machine double, par rapport à l'horizontale. Cette disposition ne présente d'autre inconvénient que la difficulté de la pose. Chaque machine est munie d'un régulateur à force centrifuge pour arriver, autant que possible, à l'uniformité du mouvement, si importante dans la manœuvre des plans inclinés, tant pour diminuer la fatigue et l'usure de la corde que pour épargner aux voyageurs le désagrément d'un mouvement saccadé.

Chaque arbre moteur porte également une vis sans fin qui, à l'aide d'une roue dentée, communique le mouvement à un axe horizontal qui lui-même le transmet, par l'intermédiaire d'engrenages, à l'aiguille d'un cadran horizontal, au moyen duquel on connaît à chaque instant la position du convoi sur le plan incliné.

Les freins des poulies motrices se composent d'une forte pièce de bois demi-circulaire de $0^m,16$ de largeur sur $0^m,12$ d'épaisseur, fixée à un collier en fer : il embrasse à peu près la demi-circonférence de la poulie. Les deux freins d'un même couple de poulies motrices sont liés à un seul levier placé entre ces deux poulies et correspondant à une manivelle à la portée du mécanicien.

On extrait l'eau d'alimentation des chaudières d'un puits de 30 mètres de profondeur au moyen d'une petite machine spéciale de huit chevaux; mais, pour économiser, autant que possible, la

force consacrée à cet usage, on recueille l'eau des condenseurs dans de grands bassins, d'où elle retourne ensuite aux chaudières.

Il est urgent de pouvoir donner rapidement des signaux d'une extrémité à l'autre des plans inclinés. L'appareil que l'on emploie pour y parvenir se compose d'une cloche verticale en tôle suspendue par une courroie à un axe horizontal autour duquel s'enroule en sens contraire une autre courroie qui supporte un contre-poids servant à équilibrer la cloche, de sorte que celle-ci s'élève ou s'abaisse sans difficulté par suite d'un mouvement de rotation imprimé à l'axe. Cette cloche plonge en partie dans un réservoir plein d'eau; elle couvre l'une des extrémités d'un tube en forme de siphon renversé qui, s'élevant d'une part au-dessus du niveau de l'eau, de l'autre monte verticalement le long de la paroi extérieure de la cloche jusqu'au-dessus de la plate-forme qui supporte l'axe et la manivelle avec lesquels on met la cloche en mouvement. A côté de ce tube s'en trouve un autre qui se prolonge souterrainement jusqu'au point où le signal doit être transmis. Les orifices de ces deux tubes sont couverts par un tiroir analogue à celui qui règle la distribution de la vapeur dans les machines. Ce tiroir, mû par l'intermédiaire d'un levier tournant à frottement doux autour de l'axe qui sert à mouvoir la cloche, peut, selon qu'on abaisse ou soulève celle-ci, mettre en communication les deux tubes entre eux, ou le tube du réservoir avec l'air extérieur et le tube d'avertissement avec un sifflet.

Dans le premier cas, l'air de la cloche, étant comprimé, va par le tube souterrain donner le signal à l'endroit voulu; dans le second, l'air rentre dans la cloche par le tube du réservoir, et le tube d'avertissement sert à recevoir un contre-signal attestant que le premier a été entendu.

Quatre appareils de cette espèce sont placés aux quatre extrémités des deux plans inclinés, et établissent la correspondance de ces extrémités entre elles avec le mécanicien. A cet effet, deux tubes parcourent toute la longueur de chacun des plans inclinés. L'un réunit les appareils du pied et du sommet d'un même plan, de sorte que les signaux y cheminent tour à tour dans les deux sens. L'autre établit simplement la communication entre le pied du plan

inférieur ou le sommet du plan supérieur et un sifflet situé au milieu du palier, et dont le seul but est de donner directement au mécanicien, placé sous le péristyle du bâtiment des machines, l'ordre de commencer ou d'arrêter la marche.

Il est probable que cet appareil très-ingénieux a été remplacé par le télégraphe électrique, depuis que l'emploi de ce nouveau système s'est répandu.

Il est indispensable que chaque convoi ait avec lui un frein puissant, tant pour modérer sa vitesse lorsqu'il descend par son propre poids que pour prévenir les accidents en cas de rupture de câble à la remonte.

On a construit à cet effet des waggons spéciaux à six roues et de 6 mètres de longueur qui portent en même temps la pince d'accrochage pour la remonte. Le frein adapté à ces grands waggons agit directement sur les rails, et non sur les roues, comme dans le cas ordinaire. Nous l'avons décrit et représenté page 271.

Enfin, d'après les règlements concernant les convois de voyageurs, la moitié des voitures doivent être munies de freins ordinaires. Ces freins suffiraient même généralement à la descente, et l'on n'en exige d'autres que la nuit ou pour les convois de plus de huit waggons. Néanmoins, comme il monte à peu près autant de convois qu'il en descend, et qu'à la remonte l'emploi des deux waggons-freins, l'un en tête, l'autre en queue, a été jugé indispensable, il faut bien les faire descendre, et, dans ce cas, on les place toujours en avant.

La pince d'accrochage portée par le waggon-frein se compose de deux mâchoires : l'une, fixe, est un peu supérieure au câble; l'autre, mobile, est un peu inférieure. On place d'abord le câble sur cette dernière, que l'on relève ensuite au moyen de leviers en la serrant contre la première. Elle est maintenue dans sa position définitive au moyen d'un déclic qu'il suffit ensuite de lâcher pour que la pince abandonne le câble.

La section transversale des deux mâchoires réunies est justement celle du câble; mais sa section longitudinale est un arc de cercle dont la concavité est tournée du côté du sol. Le câble affecte conséquemment cette courbure lorsqu'il est serré par la pince. Cette

disposition augmente le frottement du câble et des mâchoires, seule force qui produise l'ascension. Certains waggons-freins sont munis de deux pinces semblables.

Sur un plan incliné desservi par une machine fixe au chemin de Liverpool à Manchester on emploie comme frein une espèce de traîneau attaché derrière le train.

Ce traîneau est composé d'un châssis rectangulaire dont les deux longrines sont garnies en dessous de plates-bandes en fer à rebords. Ces plates-bandes reposent sur les rails. Aux deux longrines sont aussi fixés deux épais plateaux en bois s'élevant verticalement au-dessus du rail et évidés circulairement du côté du convoi. Cet appareil, étant très-léger, n'oppose qu'une très-faible résistance au mouvement ascendant du convoi; mais, si la corde vient à casser, le dernier waggon reculant, les roues de derrière de ce waggon viennent se loger dans les entailles circulaires des plateaux. Le frottement des plates-bandes, devenant alors considérable, arrête graduellement le convoi. Ce traîneau ne peut malheureusement être d'aucun usage à la descente.

Dispositions diverses des tambours. — M. Heiger, ingénieur à Styring-Vendel, qui a fait une étude spéciale de la disposition des plans inclinés, adresse à la disposition adoptée pour les machines du plan incliné de Liége les reproches suivants :

1° Le machiniste, éloigné de la voie, ne peut pas la surveiller facilement ; 2° les poulies de renvoi exigent une dépense de premier établissement et une dépense journalière d'entretien ; 3° ces poulies absorbent par leur frottement une quantité assez forte de travail ; 4° enfin l'usure du câble, que l'on a cherché à éviter dans le double enroulement, n'en a pas moins lieu dans la courbe de faible rayon qu'on est obligé de parcourir en passant sur ces poulies, auxquelles on ne peut guère donner un diamètre de plus de $1^m,50$.

On a, sur d'autres plans inclinés, placé les tambours au-dessus ou au-dessous de la voie.

Le tambour placé au-dessus de la voie doit se trouver à une hauteur telle, que le waggon puisse passer dessous.

Cette disposition est simple; on lui reproche cependant la nécessité de jeter le câble de côté pour le passage des waggons sous le

tambour, qui peut aussi le soulever en cas de retard dans le décrochage.

Deux murs élevés de chaque côté du chemin sont destinés à porter l'arbre des tambours; l'écartement de ces murs devant être restreint autant que possible à cause de la longueur de l'arbre, le passage se trouve resserré en cet endroit, où la manœuvre des waggons a lieu, ce qui est une cause grave d'accidents.

Les tambours étant au-dessous de la voie, le passage du waggon n'est plus intercepté; mais cette disposition n'exige plus la construction d'une fosse assez profonde, et la largeur de la voie limite celle du tambour, de telle sorte que, lorsque le plan incliné a une certaine étendue, le câble s'enroule plusieurs fois, ce qui en accélère l'usure.

On trouve un exemple de cette disposition à Montluçon, sur un plan incliné de 600 mètres de longueur, avec une pente de $0^m,20$. La vitesse des waggons sur ce plan atteint quelquefois 5 mètres par seconde.

Sur ce même plan incliné le garde-frein, logé dans une petite tour, au sommet, peut ainsi observer parfaitement la marche du train depuis son départ ; une sonnette le met en communication avec le machiniste. Les hommes placés dans le bas du plan incliné donnent un signal semblable dans le haut, et ceux placés dans le haut le donnent à ceux placés dans le bas.

La machine peut encore se trouver entre les deux voies, comme à Hirsbach, et ces voies, au sommet du plan, changent de direction par des courbes, de manière à éviter la rencontre du bâtiment de la machine. Cette disposition permet de placer la machine sur le sol sans creuser de fosse.

Le train se composant de plusieurs waggons, ces waggons sont isolés ou réunis par deux chaînes qui passent de chaque côté et maintiennent le dernier par une traverse en bois garnie de tôle. Un petit waggon, porteur de cet attelage, précède le train. Arrivé au sommet, on transporte ce waggon sur l'autre voie en l'accrochant à une chape que l'on manœuvre avec un levier suspendu à un chariot roulant sur un poteau placé au-dessus du chemin.

Plan incliné de Styring-Vendel. — Nous décrirons enfin, comme plan incliné pouvant servir de modèle pour une construction de ce

genre, celui de Petite-Ronelle en construction à Styring-Vendel, plan incliné dont les projets ont été rédigés par M. l'ingénieur Heiger, après avoir visité et examiné sérieusement la plupart de ces constructions existant en France.

Sur ce plan incliné, quatre rails seront placés tout le long de la rampe, à $1^m,50$, avec entre-voie de $1^m,40$; à 25 mètres du sommet, sous les rails, sont placés deux tambours d'un diamètre de $3^m,30$, avec une largeur de $0^m,85$, pour éviter la torsion de l'arbre; ces deux tambours seront réunis par un troisième d'un diamètre plus petit. Le mouvement leur est communiqué par une machine oscillante à deux cylindres sans volant, afin qu'on puisse l'arrêter immédiatement.

A 18 mètres du sommet du plan incliné se trouve placée une poulie, support du câble, d'un diamètre de $1^m,70$, mobile sur son axe, pour lui permettre de suivre toutes les directions du câble dans son mouvement de translation sur le tambour. A partir de ce point, à des distances de 10 mètres en 10 mètres, se trouvent placées d'autres poulies du diamètre de 200 millimètres seulement fixées sur leur arbre, dont les fusées tournent sur de petites crapaudines. Ces poulies sont montées sur des charpentes boulonnées aux traverses de la voie.

Outre ces poulies et entre chacune d'elles, afin d'éviter autant que possible le frottement du câble sur le sol, trois sabots en bois sont placés au milieu de l'intervalle qui existe entre deux poulies consécutives.

La vitesse du waggon doit être de 4 mètres par seconde, sa charge nette de 10,000 kilogrammes, et le diamètre du câble 30 millimètres. Ce waggon, arrivé au sommet, se décroche mécaniquement, et, en vertu de sa vitesse acquise, il continue sa marche; par là, la voie se trouve débarrassée immédiatement et sans danger; un waggon vide, qui se trouve en station, peut descendre sans aucun retard pendant qu'un plein monte, la même manœuvre ayant été opérée en bas.

Pour le travail de nuit, le waggon montant porte une lanterne rouge, celui descendant une blanche.

La durée du parcours des convois, sur chacun des plans inclinés

de Liége, est en moyenne de six minutes, tant à la montée qu'à la descente, ce qui représente une vitesse d'environ 6 mètres par seconde et de 20 kilomètres à l'heure. Ce résultat correspond, pour la remonte, à 24 tours de poulie par minute, et par conséquent à 24 coups de piston. A la descente, la plus grande vitesse que pourrait prendre un convoi de 60 tonnes, maximum de la charge des convois, serait de 139 kilomètres à l'heure; il n'y a donc qu'à la modérer suffisamment par les freins pour arriver à un parcours régulier de 360 mètres par minute.

En ajoutant au temps du parcours des deux plans le moment d'arrêt qui a toujours lieu sur le palier intermédiaire, et qui varie de trois à six minutes, la durée du parcours total est de 15 à 18 minutes. Mais, en remarquant que, par suite de la division en deux plans et de la disposition qui affecte une machine au service de chacun d'eux, on peut faire monter à un convoi le plan inférieur aussitôt que le convoi précédent a commencé son ascension sur le plan supérieur, et de même pour la descente, on sera conduit à ne compter plus que dix minutes d'intervalle entre deux départs successifs. On voit qu'il serait possible de remonter ainsi 6 convois dans une heure, et facilement 70 par jour, ce qui représente un passage d'au moins 560 voitures ou waggons chargés.

Aux États-Unis on se sert de plans inclinés pour remplacer les écluses sur les canaux, toutes les fois qu'il devient nécessaire de racheter des chutes considérables. Les bateaux, placés sur des chariots, auxquels on les amarre, sont alors remontés tout chargés sur ces plans inclinés au moyen de mécanismes qui sont mis en mouvement à l'aide de l'eau du canal lui-même.

Un des plus beaux exemples de l'emploi de ces plans inclinés est celui que nous offre le canal Morris, décrit par M. Michel Chevalier. Ce canal, pour rejoindre le Passaic, affluent de l'Hudson, franchit un contre-fort élevé de 231^{m},80 au-dessus de l'une des extrémités du canal et de 278^{m},77 au-dessus de l'autre. Il offre ainsi une pente et contre-pente de 510^{m},57.

On trouve encore des plans inclinés à machines fixes ou automoteurs, remplaçant des écluses dans les grandes mines de charbon des environs de Manchester et en Silésie.

La longueur des plans inclinés n'est pas limitée comme celle des plans automoteurs. Elle est souvent considérable. La pente peut en être très-roide; toutefois il ne conviendrait pas de dépasser celle de 3 à 4 centimètres, si on voulait y effectuer un transport de voyageurs. Avec une pente plus forte, la rupture d'un câble peut occasionner de très-graves accidents.

SYSTÈME ATMOSPHÉRIQUE.

Bien que la plupart des ingénieurs considèrent le système atmosphérique comme définitivement condamné, nous ne croyons pas devoir en supprimer la description du *Traité élémentaire*. On s'occupe sérieusement dans ce moment de trouver le moyen d'établir des chemins de fer dans les pays de hautes montagnes. L'étude de ce système peut conduire à la solution du problème. Nous croyons, d'ailleurs, qu'il ne saurait être inutile de faire l'histoire d'un système qui a menacé, il y a quelques années, de détrôner les locomotives.

Le système atmosphérique diffère essentiellement du système funiculaire par le mode de transmission de l'action du moteur aux waggons.

Système anglais. — Medhurst, ingénieur danois, a proposé déjà, en 1810, d'appliquer le principe du système atmosphérique au transport des marchandises, des lettres et des journaux. Mais il faisait voyager ces objets dans l'intérieur d'un tube au lieu de les placer à l'extérieur, comme nous le verrons plus loin.

Valence, plus tard, essaya de faire circuler les voyageurs mêmes dans l'intérieur d'un tube en bois qu'il posa sur la route de Brighton. Une pareille tentative ne pouvait être couronnée de succès.

Medhurst ensuite, perfectionnant ses premières idées, chercha à transmettre l'action d'un piston glissant dans un tube à des waggons placés extérieurement, au moyen d'une tige se mouvant dans une ouverture ou rainure longitudinale pratiquée dans la partie supérieure de ce tube, rainure qu'il bouchait avec une soupape hydraulique. Cet appareil fut encore abandonné, parce qu'il ne pouvait être employé que sur un chemin constamment de niveau.

Un ingénieur américain, Pinkus, prit à Londres, en 1834, un

brevet pour fermer la rainure longitudinale au moyen d'une soupape en corde ; mais cette soupape ne réussit pas mieux que la soupape à eau. Pinkus essaya ensuite de nouveaux moyens avec le même insuccès.

MM. Clegg et Samuda enfin imaginèrent une soupape qui est aujourd'hui employée sur le chemin de Saint-Germain, et dès ce moment le système atmosphérique fut en état de prendre place parmi les moyens de locomotion, et rivalisa, momentanément du moins, avec le système des locomotives.

Il existe deux manières d'employer le système atmosphérique, celui *par aspiration* et celui *par compression*.

Le système par aspiration est le seul qui ait été appliqué sur une grande échelle. Il consiste à poser au milieu de la voie, dans toute la longueur du parcours, à quelques interruptions près, un gros tube en fonte dans lequel se meut un piston à la tige duquel est fixé l'un des waggons du convoi (fig. 433) par une barre d'atte-

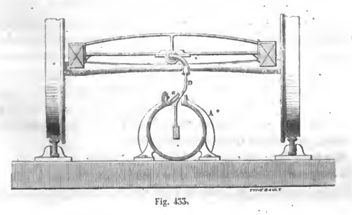


Fig. 433.

lage D. Une fente longitudinale ménagée à la partie supérieure du tube livre passage à cette barre. Entraînée par le piston en mouvement, elle glisse dans la rainure et entraîne elle-même le convoi. La rainure est recouverte par une soupape *a*. Cette soupape se soulève pour laisser passer la barre D et se referme en arrière. La machine fixe, à l'aide d'une pompe pneumatique, fait le vide dans le grand tube sur l'une des faces du piston, qui est alors chassé par

la pression de l'atmosphère agissant sur l'autre face. Le tube est fermé aux deux bouts par des soupapes spéciales. Tel est le principe du système atmosphérique par aspiration. Nous en compléterons la description en entrant dans quelques détails sur les différentes parties qui composent l'appareil.

La soupape qui ferme la rainure n'est autre chose qu'une lanière en cuir continue (fig. 434), consolidée par des lames de fer *c* et *d*

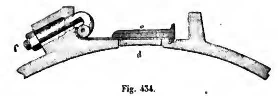


Fig. 434.

de même longueur, placées en dessus et en dessous, et réunies par des rivets. La bande de cuir est fixée sur l'un des côtés de la rainure au moyen d'une tringle en fer *e*, serrée de distance en distance par des boulons à crochets *f*. Par ce moyen, la soupape forme charnière sur toute sa longueur, et, comme elle, conserve uné certaine flexibilité ; elle peut livrer passage à la barre d'attelage tout en fermant exactement le tube à une faible distance, en avant et en arrière. Enfin, la fermeture est rendue aussi étanche que possible par une composition de cire et de suif qui remplit la rainure *g*, et soude, pour ainsi dire, le cuir sur la fonte.

Le grand tube est composé de tubes partiels de 3 mètres environ de longueur, réunis par une emboîture garnie de filasse imbibée d'huile et de suif, qui forme un joint étanche tout en permettant les dilatations et les contractions du métal.

Le piston est double : il se compose essentiellement de deux espèces de calottes, de cuir embouti, fixées sur la tige. La disposition est telle, que les bords s'appliquent par la pression de l'atmosphère contre les parois du tube, enduites préalablement d'une couche de graisse.

Des deux côtés et au droit de la barre d'attelage la tige du piston est munie de galets (fig. 435) qui soulèvent la soupape avant le

passage de la tige et la maintiennent ouverte sur une certaine longueur. Enfin, à l'extrémité opposée au piston se trouve un contrepoids qui équilibre tout l'appareil et empêche le piston proprement dit d'appuyer dans le bas du tube. La longueur de la tige doit être telle, que dans aucune circonstance la soupape ne puisse être soulevée au droit du piston.

La barre d'attelage n'a pas une épaisseur très-considérable, mais son excessive largeur la met pour ainsi dire à l'abri de toute chance de rupture. On a prévu du reste les effets d'une force vive qui serait le résultat soit d'un obstacle sur le chemin de fer, soit de quelque entrave à la marche du piston dans le tube longitudinal; la tige est reliée à cet effet au waggon directeur par un système d'assemblage dont l'organe principal est un boulon en bois qui se romprait par l'effet d'un choc violent, de telle sorte que le piston serait ainsi détaché de toutes les voitures du convoi. Les voitures, si l'arrêt provenait du piston et non d'un obstacle sur la voie, ne marchant plus alors qu'avec la vitesse acquise, pourraient être arrêtées immédiatement au moyen des freins. Le piston lui-même ne partirait pas comme un boulet pour aller jeter le désordre dans les stations voisines, comme on l'a indiqué. D'après les dispositions adoptées, l'effet de la force vive suffirait pour permettre l'introduction de l'air à l'avant et annulerait ainsi complétement la vitesse.

La barre d'attelage est articulée sous le waggon placé en tête du train. A l'arrière de ce waggon, appelé *waggon directeur*, se trouve un galet manœuvré, soit à bras, soit par un contre-poids, qui referme la soupape après le passage de la tige. Quelquefois on place sous le waggon directeur un petit fourneau chargé de combustible enflammé (*voir* la fig. 435), qui fond la graisse de la rainure et soude ainsi la soupape sur son siége après le passage du piston.

Dans les stations où le train doit pouvoir passer sur des voies de garage et aux passages à niveau où une route croise le chemin de fer, le tube est nécessairement interrompu. En ces points, le piston devra donc pouvoir entrer dans le tube et en sortir librement. Mais, d'un autre côté, on ne peut faire d'avance le vide dans ce tube que s'il est exactement fermé à ses deux extrémités au moyen de

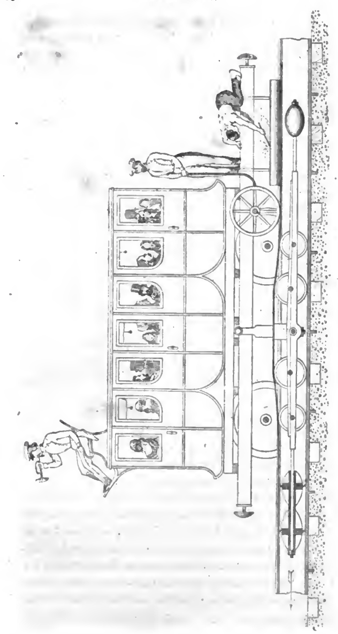


Fig. 455. — Waggon directeur, système atmosphérique.

soupapes, l'une dite d'*entrée* (fig. 436), l'autre dite de *sortie* (fig. 438).

Les extrémités du tube sont évasées en entonnoir afin de faciliter

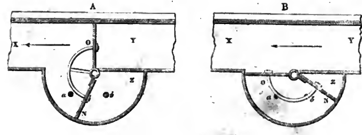


Fig. 436 et 437. — Soupape d'entrée.

l'entrée du piston. A une faible distance de l'entonnoir se trouve la soupape d'entrée, représentée fermée dans la figure A 436 et ouverte dans la figure B 437. Cette soupape se compose de deux parties O et N pouvant tourner autour d'un axe commun, la première dans le tube, qui, en ce point, a ses parois verticales à partir du diamètre horizontal, la seconde dans une chambre semi-cylindrique venue de fonte sous le tube. Le vide étant fait en X et la capacité Z communiquant avec l'air extérieur (fig. A 436) par le tube Y et par l'orifice *b*, les faces de droite des deux soupapes seront pressées par l'atmosphère, tandis que leurs faces de gauche ne recevront que l'action de l'air raréfié en X. Au moment où l'on donne le signal du départ, on met en communication les deux orifices *a* et *b* au moyen d'un tiroir analogue à ceux des locomotives; l'air contenu dans la capacité Z se précipite dans le tube X, et l'obturateur, pressé alors par l'air extérieur sur la face droite de la soupape O seulement obéit à cette pression, prend la position (fig. B 437) et livre passage au piston, qui est aspiré aussitôt par le vide du tube. On ramène à la main et au moyen d'un levier la soupape à sa position (fig. A) aussitôt que le convoi est passé; quant à la manœuvre du tiroir, elle se fait tantôt à la main, tantôt par l'intermédiaire des roues du train, qui pressent un levier saillant sur les rails H (fig. D 440). Souvent la soupape N est remplacée par un piston qui se meut dans un cylindre dont la capacité supérieure

s'ouvre dans le tube, tandis que la capacité inférieure, close, peut être, à volonté, mise en communication avec l'atmosphère ou avec le vide au moyen d'un tiroir. La soupape de sortie est plus simple : elle se compose d'un simple obturateur (fig. 438) tournant autour

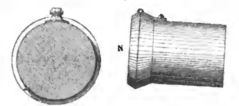


Fig. 438. — Soupape de sortie.

d'un axe horizontal placé dans le haut. Le tuyau qui établit la communication entre la machine pneumatique et le tube s'embranche sur celui-ci à une certaine distance de la soupape. Tant que le piston se trouve en amont (à droite) de ce tube, l'air qu'il refoule devant lui est aspiré par la machine pneumatique, et la soupape reste appliquée sur son siège par l'effet de la pression atmosphérique qui agit sur la face gauche. Mais, dès que le piston a dépassé le tuyau d'aspiration, l'air qu'il refoule devant lui augmente de pression, parce qu'il cesse d'être enlevé par la machine, et sa tension finit par devenir supérieure à celle de l'atmosphère ; alors la soupape se relève autour de son axe et donne passage au piston. Si le chemin était à une seule voie, il faudrait à chacune des extrémités du tube une soupape d'entrée et une autre de sortie.

Système de Saint-Germain. — Au chemin de Saint-Germain les dispositions du tube et de la soupape longitudinale sont sensiblement les mêmes que sur le chemin irlandais. Le piston ainsi que les soupapes d'entrée et de sortie seules sont différents.

La description suivante de ce piston et de ces soupapes est extraite de l'excellent ouvrage de M. Armengaud, intitulé : *Publication industrielle des machines, outils et appareils*.

Le piston (fig. 439) est simplement composé d'une tige à fourchette F reliée par le boulon *a* et par les boulons *b*, qui servent d'axes aux disques G. Cette tige se prolonge pour s'assembler avec

le porte-galets et reçoit, avec les attaches de la conduite ordinaire *r* des manomètres, le levier H, qui sert à faire basculer les disques ou plateaux autour de leur centre comme charnière, de manière à prendre une position oblique à la descente du waggon, laquelle position permet de ne pas retourner le piston et de ménager cependant les garnitures de cuir, qui passent sans toucher et sans se rebrousser.

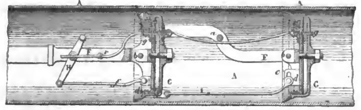


Fig. 439. — Piston du chemin de Saint-Germain.

Cette disposition a permis de simplifier tout l'ensemble, qui se compose maintenant de la tige F, et des deux disques précités G, formés d'une cuvette en fonte sur les bords de laquelle viennent se poser les garnitures embouties *c*. Un second disque intérieur *d*, formé de l'assemblage de feuilles de tôle, vient s'appliquer sur le côté opposé des cuirs et les serrer fortement par la tige taraudée *e*.

Voyons maintenant à l'aide de quels moyens on est parvenu à produire facilement la position d'obliquité. Le levier H forme la suite d'une longue tringle qu'on manœuvre de la plate-forme du waggon, et, comme son extrémité inférieure porte la tige *f*, boulonnée à une saillie intérieure du premier disque, il s'ensuit que le mouvement imprimé à la première de ces pièces se reproduit sur le premier plateau, et par conséquent sur le deuxième, qui s'y trouve relié par la bielle. On a eu le soin de tenir la conduite du manomètre un peu longue, afin qu'il n'y ait ni rupture ni allongement lors de l'opération; cette conduite est d'ailleurs en tissus flexibles, imperméables à l'air et à l'eau, et est assemblée solidement avec les boîtes en bronze *g*.

Le train du waggon est disposé de manière à pouvoir :

1° Débrayer ou embrayer le piston à volonté;

2° Modérer la vitesse de ses roues au moyen d'un frein puissant et énergique;

3° Enfin, manœuvrer le galet de fermeture de la soupape longitudinale[1].

Lorsque le piston est introduit dans le tube, il s'agit de faire le vide devant lui; mais, pour le faire avec fruit, on intercepte toute communication au moyen d'une *soupape d'entrée*, et l'on fait agir le télégraphe électrique, qui avertit qu'on doit mettre en mouvement les machines pneumatiques.

Cette soupape est représentée en détails à la page suivante.

La figure A en montre la coupe verticale, faite suivant l'axe du tube de propulsion.

La figure B, une autre coupe verticale perpendiculaire à la précédente.

Et enfin la figure C, une élévation extérieure parallèle à la figure A, et vue du côté du mécanisme.

Nous supposons un train montant à Saint-Germain : lorsqu'on a fermé la soupape en agissant sur le levier B, elle intercepte la communication entre la partie du tube dans laquelle on fait le vide et celle dans laquelle se trouve le piston, et par suite le convoi. A la première évacuation d'air enlevé par les premiers coups de piston des pompes pneumatiques, l'équilibre de pression étant rompu sur les deux faces du clapet ou soupape d'entrée O, cette dernière, basculant librement autour de l'axe *j*, qui lui sert de charnière, tend à retomber à sa position normale, car elle n'est retenue que par le secteur en fonte *k* et son contre-poids *l*, qui deviendraient bientôt insuffisants. On a donc été dans l'obligation d'exercer sur la face en contact avec la partie purgée une pression factice qu'on est maître d'établir ou de retirer à volonté. Voici ce qui a été imaginé à cet effet : la partie du tube de propulsion dans laquelle se meut la soupape d'entrée est munie à sa base d'une tubulure *m*, à laquelle est boulonné le cylindre D. L'intérieur de celui-ci, fondu avec un orifice supérieur *n* et un orifice inférieur *o*, ouverts à l'air libre, reçoit le piston à garniture de cuir E, qui se relie avec le

[1] Nous renvoyons pour de plus amples détails à l'ouvrage de M. Armengaud.

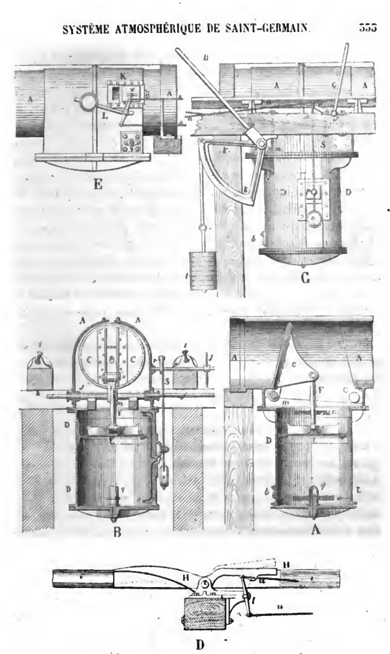


Fig. 440. — Soupape d'entrée et de sortie de Saint-Germain.

clapet C par la bielle ou tige F, ce qui rend le mouvement de ces deux pièces dépendant l'un de l'autre. Or, si l'on veut empêcher la soupape de retomber par l'aspiration de l'air du tube, on découvre l'orifice *o*, et l'on ferme l'orifice *n*, au moyen du tiroir *p*; l'air, se précipitant sous le piston E, agit sur toute sa surface; et, comme celle-ci est sensiblement plus grande que celle du clapet d'entrée, on conçoit qu'il la maintient fermée avec une force dépendant à la fois de l'excédant de cette surface, de la perfection du vide dans le tube de propulsion, et du poids *l*, multiplié par la longueur du bras ou secteur *k*. Lorsque ce vide est obtenu à un degré convenable, il faut baisser la soupape pour donner passage au convoi; à cet effet, on change la position du tiroir *p*, qui met alors en communication les deux orifices *n* et *o*; au même instant, l'air qui existe sur le piston est aspiré instantanément par la partie supérieure purgée, et, l'équilibre de pression s'établissant bientôt, la soupape s'ouvre d'elle-même et sans choc pour livrer passage au piston moteur.

En cas d'accident ou de fausse manœuvre, le cylindre D est garni à sa base d'une espèce de tampon ou ressort métallique *q*, qui amortirait le choc du piston si ce dernier venait à se détacher, et d'une soupape de sûreté *b*, qui laisserait échapper l'air lors d'un faux mouvement.

La manœuvre du tiroir de distribution d'air *p* s'effectue soit à la main, soit par le convoi même. Dans le premier cas, c'est en agissant sur la poignée G que l'on fait mouvoir l'axe qui le porte, la manivelle *r* et la tige à contre-poids S; dans le second cas, c'est au moyen d'un mécanisme particulier et fort ingénieux dessiné en détails (fig. D 440). Il se compose d'un double levier, à encoches H, situé à quelques mètres de la soupape qu'il commande, entaillé dans les rails *i*, et oscillant autour de son point fixe. Lorsque la première roue du convoi fait baisser la partie recourbée de ce levier, sa partie opposée, qui, munie d'encoches, retenait le moulinet I, le laisse échapper en se soulevant pour lui faire prendre la position indiquée en ponctué; mais chaque extrémité de ce moulinet correspond avec un long et fort fil de fer *u*, qui, se croisant dans le milieu de sa longueur, s'attache à un second moulinet J,

qu'on voit représenté figure B 440; il s'ensuit donc que l'oscillation de ce dernier a fait agir le tiroir *p*, que le poids *v* tend toujours à faire descendre, et a fermé la communication de l'air pour établir celle du vide. On remet à la main les choses dans leur état primitif avec l'aide du levier G.

La soupape intermédiaire, qui n'existe pas dans la portion exploitée du chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain, mais qui existe dans le projet, devait servir à limiter la sphère d'action de chaque machine motrice, et devait se manœuvrer d'une manière analogue, sauf quelques petites particularités dont la principale était la boîte à tiroir, qui, au lieu de se trouver en communication avec l'air, l'était au contraire avec la portion purgée du tube par un tuyau recourbé : son principe, son mouvement, son but, étaient d'ailleurs les mêmes que précédemment.

La soupape de sortie est placée presque à l'extrémité du tube d'arrivée à Saint-Germain et au delà de l'embranchement souterrain qui sert à l'évacuation de l'air. Disposée sur des principes analogues aux soupapes que nous venons d'examiner, elle se manœuvre néanmoins sans l'aide de piston auxiliaire ou de contrepoids, comme nous allons le voir; nous l'avons représentée figure E 440.

Cette soupape, oscillant avec l'axe *y*, sert à limiter la dernière sphère d'action des machines pneumatiques; à cet effet et toujours dans la supposition d'un train montant à Saint-Germain, elle affecte la position indiquée en ponctué, de sorte qu'elle est maintenue dans cette position par la pression atmosphérique qui agit sur une de ses faces. Lorsque le convoi arrive et dès qu'il a dépassé le tube d'aspiration des machines pneumatiques, placé en deçà de la soupape de sortie, le tiroir *x* s'ouvre comme une glissière à l'aide d'un levier à encoches semblable à celui que nous avons décrit plus haut et dégage l'orifice *z*, dont est percée la boîte K. Cette manœuvre, qui s'effectue par l'équerre à contre-poids L et les fils ou tringles *a*, a pour résultat de permettre à l'air extérieur de pénétrer dans la portion du tube comprise entre la soupape et le piston moteur, de sorte que cet air, refoulé de plus en plus contre la soupape, acquiert bientôt une pression capable de faire baisser celle-ci sans aucun

mécanisme, et débarrasse ainsi le convoi de tout obstacle, lui laissant continuer sa marche par la seule vitesse d'impulsion jusqu'à la sortie du tube.

Dans les gares, les voies sont disposées comme dans les chemins à locomotives. A chaque branchement le tube est interrompu, et le convoi, ayant à sa tête le waggon directeur qui porte le piston, franchit l'interruption du tube en vertu de sa vitesse acquise. Pour rendre les manœuvres possibles, il faut nécessairement que chaque tronçon de tube communique par ses deux extrémités avec la machine pneumatique, et il faut de plus que cette communication puisse être interrompue à volonté, d'un côté ou de l'autre. Enfin, comme dans les manœuvres de gare il faut souvent parcourir la même voie en sens inverse à de très-courts intervalles, il faut être en état de faire le vide très-rapidement dans chaque tube, ce qui force à établir une machine puissante à chaque station.

Les passages à niveau se construisent de deux manières différentes : ou l'on pose les rails et le tube au fond de rigoles profondes que l'on recouvre, pour donner passage aux voitures, de plaques de tôle épaisses que l'on fait enlever par le gardien du passage à niveau à l'approche du convoi (*fig.* 441), ou bien le passage à niveau ressemble à ceux des chemins de fer ordinaires, et le tube, interrompu sur toute la largeur de la route, est muni de une ou deux soupapes à ses extrémités, selon que le chemin est à une ou deux voies. Les deux portions du tube sont alors mises en communication par un conduit souterrain (*fig.* 442).

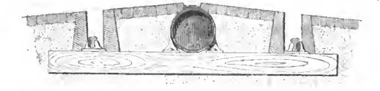


Fig. 441. — Passage à niveau avec tube enterré.

Nous n'entrerons dans aucun détail à l'égard des machines pneumatiques employées à faire le vide dans le tube; ces machines ressemblent beaucoup aux souffleries des hauts fourneaux, si ce n'est

que leur action est inverse, puisqu'elles aspirent l'air dans le tube pour le refouler ensuite dans l'atmosphère, tandis que les machines soufflantes des usines métallurgiques puisent l'air dans l'atmosphère pour le lancer ensuite sur le combustible en ignition.

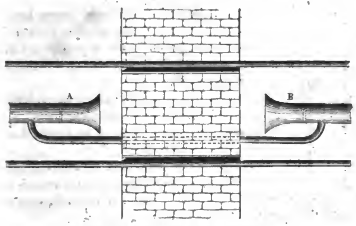


Fig. 442. — Passage à niveau avec tube interrompu.

L'écartement des machines fixes ne peut être déterminé d'avance; néanmoins il convient de ne pas les placer à de trop grandes distances les unes des autres, afin que le frottement qu'éprouve l'air lancé par le piston en se monvant dans le tube n'exerce pas une contre-pression trop considérable.

M. Arnollet a proposé d'accumuler la force motrice dans des réservoirs clos afin de profiter de tout l'effet des machines et d'obtenir une raréfaction disponible constante. Ce système ingénieux, dont M Lamé a fait l'éloge dans un rapport à l'Institut, n'a pas cependant, à notre connaissance, reçu d'application.

La figure 443 représente l'ensemble d'un chemin établi dans le système atmosphérique avec voie d'évitement.

Sur les chemins à pente forte, comme celui du Pecq à Saint-Germain, un seul tube suffit. La descente s'opère par l'impulsion seule de la gravité. Mais sur des pentes faibles il paraît difficile d'exploiter régulièrement un chemin de fer sans établir un double tube.

Opinions diverses sur le système atmosphérique. — En 1844,

Fig. 445. — Disposition d'un chemin atmosphérique.

au moment où l'attention du public était le plus vivement attirée sur le système atmosphérique, M. Robert Stephenson rédigea un mémoire sur les avantages et les inconvénients du système atmosphérique comparé au système funiculaire et au système des locomotives. Personne mieux que lui n'était capable d'étudier cette question; mais on lui reprocha d'être partial à l'égard du système des locomotives, pour lequel on prétendait qu'il avait toute l'affection d'un père.

L'essai fait depuis lors du système atmosphérique a prouvé cependant que ses conclusions étaient, pour la plupart, parfaitement justes. C'est pourquoi nous croyons devoir les reproduire.

1° Le système atmosphérique n'est pas un mode économique pour transmettre le pouvoir moteur, et il est inférieur, à cet égard, aux locomotives et aux machines stationnaires avec cordages;

2° Il n'est pas capable d'acquérir et de maintenir dans la pratique de plus hauts degrés de vitesse que ceux qu'on obtient par le service actuel des locomotives;

3° Il ne produirait pas, dans la majorité des cas, une économie dans la construction primitive de la voie, et dans beaucoup d'autres il augmenterait matériellement les frais d'établissement;

4° Le système atmosphérique serait le plus convenable sur quelques chemins de fer de courte étendue où le mouvement de circulation est considérable et permet d'avoir des trains d'un poids modéré, mais exigeant de grandes vitesses et de fréquents départs, lorsque, en outre, la surface du pays est de nature à ne pas permettre des pentes convenables pour les locomotives;

5° Le système atmosphérique pourrait être avantageusement appliqué sur de courtes lignes de railways,

par exemple sur celles de 7 à 8 kilomètres, dans le voisinage des grandes villes, où l'on a besoin d'une communication fréquente et rapide, mais seulement entre les stations principales;

6° Le système atmosphérique est inapplicable sur de courtes lignes, comme celle de Blackwall, où le mouvement de circulation provient principalement de points intermédiaires et où l'on a besoin de points d'arrêt fréquents entre les stations principales; ce système étant de beaucoup inférieur à celui qui consiste à détacher les voitures d'une corde pour la commodité du trafic immédiat;

7° Sur de longues lignes de chemins de fer on ne peut desservir un grand trajet avec un système aussi peu flexible que le système atmosphérique, où l'opération efficace de l'ensemble dépend de l'exécution parfaite de chacune des sections individuelles du mécanisme.

La comparaison des frais d'établissement et d'exploitation du système atmosphérique et du système funiculaire a été établie par M. Stephenson, en prenant pour base de ses calculs, pour le système funiculaire, les dépenses faites pour la construction et pour l'exploitation du plan incliné de Euston, sur le chemin de Birmingham, et, pour le système atmosphérique, celles faites pour la construction et l'exploitation du chemin de Dalkey à Kingstown. Il a eu égard, bien entendu, aux conditions différentes dans lesquelles se trouvait la voie sur les deux lignes.

En ce qui concerne la comparaison entre la dépense d'établissement et d'exploitation dans le système des locomotives et dans le système atmosphérique, il a pris pour base de ses estimations la dépense de la locomotion au moyen de locomotives sur le chemin de Londres à Birmingham, et celle de la locomotion au moyen de l'appareil atmosphérique sur le chemin irlandais.

Aujourd'hui que les locomotives ont été considérablement perfectionnées, les résultats de calculs semblables seraient bien plus favorables au système des locomotives qu'ils ne devaient l'être en 1844, époque à laquelle M. Stephenson a publié son mémoire.

La comparaison du système atmosphérique au système funiculaire a été faite aussi par deux ingénieurs belges, M. Maus, ingénieur des ponts et chaussées de Liége, aujourd'hui inspecteur gé-

néral en Piémont, et M. Belpaire, ingénieur-mécanicien. Ces messieurs, envoyés en 1846 par le gouvernement belge en Irlande, pour y étudier le système atmosphérique dans le but d'établir cette comparaison, ont rédigé, à leur retour, un rapport dont voici les conclusions :

« 1° Considéré sous le rapport théorique, l'air dilaté, employé par MM. Clegg et Samuda, comme moyen de transmission de mouvement, peut restituer tout l'effet dynamique dépensé à le raréfier, sans autre perte de force que celle employée à dilater le volume d'air contenu dans le cylindre de la pompe pneumatique ;

« 2° En pratique, on n'obtient, sur le chemin de Kingstown à Dalkey, qu'un effet utile qui peut varier de 0,19 à 0,20, selon le degré de dilatation de l'air.

« En supprimant la conduite établie entre la pompe et le tube pneumatique ou propulseur, l'effet utile augmenterait et varierait de 0,25 à 0,31.

« Enfin, s'il n'existait ni conduite intermédiaire ni rentrée d'air, l'effet utile s'élèverait entre 0,31 et 0,40.

« Les différences entre l'unité et les nombres 0,69 et 0,60 expriment donc les pertes de force dues aux frottements et résistances divers, tant de la machine motrice que de la pompe pneumatique.

« 3° L'effet utile est à son maximum lorsque l'air intérieur a une tension $0^{at},55$, et correspondrait à la tension intérieure de $0^{at},44$, s'il n'y avait pas de rentrée d'air.

« 4° Appliquant la machine de Dalkey à des tubes de diverses longueurs, l'effet diminue en raison de la longueur du tube, dans une proportion d'autant plus rapide que l'air est plus dilaté ; le maximum, qui pour la longueur de 1 kilomètre est 0,33, devient 0,24 pour 5 kilomètres; le degré de dilatation est, en outre, limité par la longueur du tube : ce degré, pour une longueur de 5 kilomètres, ne peut guère dépasser $0^{at},375$, qui correspond à une pression dynamique sur le piston de $0^{at},625$.

« 5° Le système de traction de MM. Clegg et Samuda, comme tous les autres systèmes, exige une dépense qui croît avec la vitesse.

« 6° Le système atmosphérique, agissant d'une manière inter-

mittente et n'exerçant que des efforts assez faibles, exige une double voie plus impérieusement que les câbles.

« 7° Lorsque l'on emploie les câbles pour transmettre des efforts à de grandes distances, l'effet utile décroît à mesure que la vitesse et la longueur augmentent, mais dans une proportion différente, et qui est plus rapide pour la vitesse que pour la longueur.

« L'effet utile dépend d'ailleurs du rapport que l'on établit entre la résistance produite par le poids des convois et les résistances passives du mode de transmission.

« L'effet utile des machines des plans inclinés de Liége, remorquant des convois ordinaires de 50 à 60 tonneaux, à la vitesse de 20 kilomètres, est de 0,60, et pour un parcours d'environ 2,000 mètres; cet effet utile se réduirait à 0,558 pour une vitesse double, et à 0,636 pour une longueur double.

« 8° Établissant le parallèle entre les câbles et le système atmosphérique, en rendant les conditions aussi égales que le permet la nature différente de ces deux modes de traction, nous trouvons que, pour desservir une distance de 3 kilomètres appartenant à une grande ligne à double voie, la force motrice pour le système atmosphérique est à celle qu'exigent les câbles dans le rapport :

De 100 à 27	pour des vitesses de	20	kilomètres à l'heure.
De 100 à 64	—	40	—
De 100 à 99	—	60	—

« L'effet utile, dans le système atmosphérique, est à l'effet utile des câbles dans le rapport :

De 100 à 274	pour des vitesses de	20	kilomètres à l'heure.
De 100 à 145	—	40	—
De 100 à 89	—	60	—

« 9° Les frais d'établissement des moteurs étant sensiblement, dans les deux systèmes, proportionnels à leur puissance, les câbles ont sur le nouveau système un avantage très-grand pour une faible vitesse, qui décroît à mesure qu'elle devient plus considérable, et l'égalité s'établit à la vitesse d'environ 60 kilomètres à l'heure.

Les frais d'établissement des tubes, comparés aux câbles et à leurs

poulies de support, présentent une différence considérable qui ne s'élève pas à moins d'un demi-million par lieue de 5 kilomètres.

« 10° Les frais d'exploitation comprennent, de part et d'autre, le combustible ; puis, dans le système atmosphérique, les frais de graissage et de surveillance des tubes, l'entretien et le renouvellement des cuirs des pistons et clapets, et, pour le système des câbles, le graissage des poulies de support, l'entretien et le renouvellement des câbles.

« Comparés sous le rapport de la dépense en combustible, les câbles présentent sur le système atmosphérique une économie d'autant plus grande que la vitesse est moindre ; il y a égalité lorsque la vitesse est de 55 kilomètres à l'heure, et avantage en faveur du système atmosphérique pour des vitesses plus grandes ; quant aux autres chapitres de dépense, l'expérience ne permet pas encore d'établir un chiffre exact ; mais la différence en faveur de l'un ou de l'autre système, en égard aux frais de surveillance des tubes, est peu considérable.

« 11° Sous le rapport de la sécurité, les câbles nous semblent offrir les mêmes avantages que le système atmosphérique.

« De ce qui précède il résulte :

« Que sur les portions de chemin faiblement inclinées, ayant égard seulement aux frais d'établissement et d'exploitation, le système des locomotives est préférable au système atmosphérique ;

« Que sur les portions dont l'inclinaison atteint 3 centimètres les frais d'établissement et d'exploitation sont inférieurs pour le système atmosphérique ;

« Que, dans l'état actuel de perfection des deux systèmes atmosphérique et funiculaire, les câbles permettent d'obtenir les divers degrés de vitesse en usage et que l'on ne peut dépasser sans accroissement de dépense, avec la même sécurité et des frais d'exploitation notablement inférieurs, lorsque la vitesse est de 20 kilomètres à l'heure ; égaux, lorsque cette vitesse est de 55 kilomètres, et supérieurs au delà de cette limite ; mais la différence favorable dans ce dernier cas est trop faible pour justifier l'excédant considérable de dépense d'établissement qu'exige le système atmosphé-

rique, qui ne nous paraît, en conséquence, pas susceptible d'une utile application au service ordinaire des chemins de fer.

« Bruxelles, le 8 février 1845. »

Mais les considérations précédentes ne sont pas les seules qui peuvent influer sur le choix du système de locomotion. Il en est d'autres que l'on doit faire entrer en ligne de compte pour adopter ou pour rejeter le système atmosphérique.

Telles sont les suivantes :

1° On reproche au système atmosphérique, aussi bien et plus encore qu'au système funiculaire, de mal se prêter aux exigences d'un service très-actif. C'est surtout pour le service des grandes gares de voyageurs et de marchandises où les machines concourent avec les hommes à la manœuvre des convois que l'appareil atmosphérique paraît incommode. Admissible peut-être dans certains cas particuliers pour une ligne courte, il présenterait dans son application à de grandes lignes les inconvénients les plus graves.

2° Si le système atmosphérique admet les courbes de petit rayon, il n'en est pas de même du système funiculaire. Ces courbes augmenteraient beaucoup la résistance et l'usure des câbles; aussi a-t-on dépensé des sommes considérables pour les éviter sur les plans inclinés de Liége.

3° Il n'est pas aussi facile, dans le système des machines fixes, d'augmenter ou de diminuer à volonté la force motrice que dans celui des locomotives. L'accroissement du travail journalier avec les machines fixes a une limite, tandis qu'avec les locomotives le travail peut subir une augmentation indéfinie.

4° L'établissement des passages à niveau, sans être impossible avec le système atmosphérique, est plus difficile que dans celui des locomotives.

5° Nous avons vu que, dans le cas où un convoi vient à rencontrer un obstacle sur la voie, le piston du système atmosphérique s'en détachait sans grand effort; mais ce choc n'en a pas moins lieu, et il ne peut être atténué qu'au moyen des freins, tandis que dans le système des locomotives on emploie la machine elle-même pour arrêter le convoi à une certaine distance de l'obstacle.

M. Robert Stephenson, dans l'intéressant rapport que nous avons déjà cité, s'exprime dans les termes suivants sur les difficultés qu'offrirait l'exploitation d'une grande ligne par le système atmosphérique.

« Nous arrivons maintenant à la question d'exactitude relative, et nous voyons que sur ce point le rapport renferme certaines considérations ayant trait à l'application pratique du système atmosphérique, lesquelles militeraient très-sérieusement contre lui, quand bien même la première dépense et les frais d'exploitation seraient en sa faveur. J'ai déjà donné les raisons, dit M. Stephenson, pour lesquelles je regarde une double série de machines comme nécessaire pour exploiter une ligne comme celle de Londres à Birmingham; mais je n'ai fait, dans cette partie du rapport, aucune attention à l'importance d'une double série de machines pour la question d'exactitude, parce que je me bornais alors aux considérations qui affectaient les premiers frais d'établissement et la non-rencontre des trains se dirigeant dans des directions opposées.

« En examinant le système sous le rapport de l'exactitude du service, nous remarquons qu'à chaque distance de 3 à 4 milles les trains sont transférés d'une machine à vapeur à nue autre; que chaque train, en s'avançant entre Londres et Birmingham, passerait, pour ainsi dire, par 38 systèmes différents de mécanisme, que l'opération parfaite de l'ensemble dépendrait de chaque partie individuelle, et qu'un accident sérieux, arrivé à une des machines, étendrait son influence immédiatement à la série tout entière. Dans ces circonstances, il est raisonnable de supposer qu'avec une série de mécanisme aussi vaste que celle qui serait nécessaire, des éventualités occasionnant du délai devraient souvent arriver. Si les conséquences affectaient un train seulement, ces éventualités seraient de peu d'importance; mais, quand elles s'étendent, non-seulement sur toute l'étendue de la ligne de chemin de fer, mais même à chacun des trains successifs qui doivent passer dans la localité où l'accident a eu lieu, jusqu'à ce qu'on y ait porté remède, qu'on y emploie une heure ou une semaine, on doit admettre que les chances d'irrégularité sont considérables.

« L'application de la machine la plus voisine pour remplacer

celle qui se trouve en défaut ne fait pas disparaître entièrement la difficulté, elle mitige le mal, mais elle est inadmissible comme remède, puisque chacun des trains successifs éprouverait une diminution égale de vitesse, et que le délai s'appliquerait à chaque train, quelle que fût sa destination, et à chaque railway qui se trouverait en communication avec celui où l'accident aurait eu lieu. Qu'une ligne de chemins de fer dépende ainsi de l'opération uniforme et efficace d'une série compliquée de mécanismes appliqués à une autre ligne avec laquelle elle est en relation, c'est un point qui me paraît présenter une difficulté des plus grandes pour l'application du système à de grandes lignes publiques de railways; cette difficulté est même si grande, que je doute beaucoup qu'on puisse mettre un pareil système à exécution, quand bien même il serait supérieur sur tous les autres points, à celui des locomotives sur une chaîne de railways, telle que celle qui existe entre Londres et Liverpool, ou entre Londres et York.

« Cette difficulté, qui est insurmontable et inhérente à tous les systèmes qui font usage de machines stationnaires, avait fait l'objet d'un sérieux examen avant l'ouverture du chemin de fer de Liverpool à Manchester, parce qu'il était question d'y appliquer les machines stationnaires et les cordages; on pesa mûrement alors l'objection d'après laquelle toute la ligne dépend d'une des parties, et il fut décidé qu'il y avait de fortes objections contre ce système. Dans le cours de mon investigation, je suis de nouveau entré dans un sérieux examen sur la possibilité de s'en servir, mais sans parvenir à éloigner les obstacles qui doivent s'opposer à ce qu'on obtienne cette exactitude d'exécution qui est devenue indispensable dans toute communication par chemin de fer.

« Les évaluations avec leurs conséquences que je viens de mentionner et de discuter ne se rapportent qu'au mécanisme par lequel on transmet le pouvoir moteur; mais les chemins de fer sont encore sujets à d'autres cas fortuits, et l'on ne doit pas les omettre. Le système atmosphérique exige une fondation ferme et constante, pour que le tube d'aspiration se conserve précisément dans sa position convenable pour le libre passage du piston. Il est facile de le maintenir dans cette position de stabilité, dans le cas du chemin

de Kingstown, puisque toute la distance est formée en tranchées et sur le roc; mais, sur des terrassements nouvellement terminés, le terrain baisse, non pas seulement peu à peu, mais d'une manière rapide, ce qui détruit complétement la continuité des rails, et ne laisse tout au plus qu'une seule ligne de rails dont on puisse se servir pour le passage des trains dans les deux directions. Ces éventualités ont lieu dans les déblais et dans les remblais, sur presque toutes les lignes importantes des chemins de fer de ce pays, et elles ont rendu inévitable pendant plusieurs jours de suite l'emploi d'une seule ligne de rails pour les trains allant dans les directions opposées; aucun de nos grands chemins de fer n'en est exempt, quoiqu'il y ait quelques années qu'ils soient ouverts. Il n'y a pas un an que le chemin de fer de Londres à Birmingham a été obligé de se servir dans deux ou trois endroits à la fois de l'expédient dont nous venons de parler, quoiqu'il y eût déjà plus de six ans que la ligne était ouverte à la circulation.

« Mais, comme ce serait allonger ce rapport que de mentionner en détail toutes ces éventualités, comme ce serait, en outre, entamer des questions sur lesquelles il peut y avoir diverses opinions, j'ai préféré mettre de côté tous ces détails de moindre importance et me borner à mentionner les objections qui s'attachent au système d'une manière irréfutable. C'est pour cela que je n'ai pas soulevé les objections qui peuvent exister pour empêcher de desservir un trafic compliqué à des stations intermédiaires d'une ligne de chemin de fer lorsqu'il faut constamment changer la position des voitures d'un train, lorsqu'il faut faire reculer un train en mouvement, mettre les voitures à l'écart dans les voies d'évitement, etc. Je n'ai pas non plus fait allusion à la nécessité qui existe d'avoir des freins puissants et des gardes à chaque voiture afin d'arrêter les trains lorsque la machine continue de donner tout son pouvoir moteur. J'ai cru devoir omettre entièrement ces objections et beaucoup d'autres encore de moindre importance, afin d'appeler seulement l'attention sur les traits principaux de l'invention, et de ne traiter comme une difficulté aucun point qui n'aurait pas été évidemment inhérent au système même, et auquel il y aurait eu moyen de porter remède. »

Le système atmosphérique paraît donc tout à fait inapplicable pour l'exploitation d'une grande ligne et sur les pentes faibles parcourues habituellement par les locomotives. Il a été abandonné en Angleterre sur les lignes à faibles pentes, auxquelles on avait tenté de l'appliquer. L'expérience en a définitivement condamné l'emploi dans de pareilles circonstances; mais, sur des pentes dépassant 3 centimètres, le service avec locomotives devenant très-dispendieux ou impossible, le système atmosphérique peut alors être susceptible d'application.

Voici enfin l'opinion de l'ingénieur français le plus compétent sur cette question, M. Flachat, qui a construit et exploité le plan incliné de Saint-Germain. Elle est consignée dans la note suivante, que cet ingénieur éminent a bien voulu nous autoriser à publier :

« Le système atmosphérique ne me paraît pas susceptible d'être appliqué dans les conditions où il se trouve aujourd'hui avec avantage, autrement que sur les plans inclinés; les principales difficultés qui s'opposent à son adoption sur de grandes longueurs consistent dans ses frais d'établissement et dans l'impossibilité de proportionner l'effort aux effets à produire, sans faire varier les dimensions du tube suivant les rampes : je n'aperçois point de solution à cette difficulté.

« Une autre est dans la perte de force qui résulte de l'emploi d'une soupape toujours perméable à l'air.

« La quatrième résulte de l'impossibilité de faire fonctionner économiquement les foyers de machines puissantes pendant quelques minutes seulement de la journée.

« C'est donc uniquement aux plans inclinés que me paraît devoir se borner l'application du système. Mais, sous ce rapport, il présente des avantages très-évidents.

« Le premier est dans la combinaison qu'il permet de l'effort de traction développé par les locomotives avec celui qui est exercé au moyen du tube atmosphérique.

« En supposant le tube placé sous la voie, à un niveau suffisant pour laisser passer le chariot qui porte le piston auquel s'attacherait la machine locomotive, un train pourrait franchir sans retards les hauteurs les plus considérables.

« En prenant pour exemple le chemin de fer de Saint-Germain, dont le plan incliné se compose d'une longueur de 100 mètres, dans laquelle les rampes varient par éléments de 120 mètres, de 0, à 0,035 millimètres par mètre, et d'une rampe de 0,035 millimètres sur un kilomètre d'étendue, la machine locomotive l'*Antée*, pesant 27 tonnes, remonte, lorsque l'état de l'atmosphère assure sa complète adhérence, 14 voitures de voyageurs de 6 à 7 tonnes.

« Le chemin de fer atmosphérique ne peut remonter que 10 voitures de ce poids; mais, si le tube était posé sous la voie, il serait inutile de partager les trains par 10 voitures, et, dans les jours de l'affluence, la possibilité de monter 24 voitures à la fois, par train, ôterait au chemin de fer atmosphérique le grave inconvénient qu'il présente d'une puissance limitée à 10 voitures, très-suffisante pour 340 jours de l'année, mais insuffisante pendant 25 jours de fête ou d'affluence.

« Le chemin de fer atmosphérique de Saint-Germain n'a jamais failli.

« Il a fait franchir jusqu'à ce jour à 45,000 trains environ la hauteur de 52 mètres par un plan incliné de 2 kilomètres ; jamais un accident ne s'est produit; la sécurité du service y est absolue; sa félicité est telle, qu'il me semble mériter à ce titre l'attention la plus sérieuse des ingénieurs.

« Quant à l'économie, elle est évidente : l'application des locomotives à des rampes de 35 millimètres ne peut se faire qu'à la condition de tenir les rails et les bandages dans un état de siccité ou de grande humidité tel, que l'adhérence puisse être complétement obtenue; cette adhérence, qui va jusqu'à 10 et 20 kilogrammes par tonne, se réduit à 6 ou 7 kilogrammes par l'interposition des matières les plus légèrement lubrifiantes : la rosée, le givre, les feuilles d'arbres, la neige, les pluies fines et grasses de l'automne et du printemps, produisent cet effet assez fréquemment pour qu'un service régulier ne puisse être assuré si la voie n'est pas soustraite à leur influence; à ce titre, le plan incliné de Saint-Germain ne pourrait être desservi par des locomotives qu'autant qu'il serait complétement couvert et mis à l'abri de l'influence atmosphérique.

« Mais la combinaison du système atmosphérique et de la puissance des locomotives évitera dans la plupart des cas pour les plans inclinés cette dispendieuse condition.

« Quant à l'économie de l'application en elle-même, on pourrait se dispenser d'en parler en ce sens que le système atmosphérique ne devrait être employé que là où les machines locomotives seraient impuissantes ; cependant il importe de faire remarquer que, si l'on fait abstraction de l'intérêt du capital d'établissement, la dépense de traction par le chemin de fer atmosphérique, remonte et descente comprises, n'est pas beaucoup plus considérable que celle d'un train de marchandises sur les pentes ordinaires, puisqu'elle n'excède pas 1 fr. 90 c. par kilomètre, en y comprenant l'entretien du tube et de la soupape, et en comptant la houille à 35 fr. la tonne.

« Il résulte de cette appréciation qu'aujourd'hui encore toute autre solution que le chemin de fer atmosphérique serait embarrassante pour le service du plan incliné de Saint-Germain.

« De ce point de vue, cherchant les applications du système combiné qui auraient simplifié les grandes difficultés qu'a présentées l'établissement des chemins de fer en France, et qui ont amené une absorption de capital qui a un instant ébranlé les plus brillantes affaires, je citerai la traversée de Rouen, qui eût pu être faite de manière à mettre le chemin de fer en pleine relation avec la ville, au lieu de passer en dessous ; la traversée de Lyon, qui a retardé de plusieurs années la jonction avec la ligne de la Méditerranée ; la traversée de la Nerthe, qui a mis en péril le chemin de Marseille à Avignon ; le passage du faîte que traverse le chemin de Lyon à Blaisy ; le plan incliné appelé à relier la gare des marchandises du chemin de la Méditerranée avec le port de la Joliette à Marseille.

« Je crois que dans les solutions qui sont intervenues pour résoudre ces grandes difficultés de l'art les ingénieurs ont fait complétement abstraction du système atmosphérique, et se sont privés par là du moyen de résoudre avec économie et rapidité les difficiles questions que la configuration du sol leur présentait.

« L'application du système atmosphérique à la jonction du réseau français avec les réseaux étrangers à travers les pays de mon-

tagnes qui, dans le midi de la France, rendent cette réunion difficile, ne me paraît pas pouvoir être envisagée d'une manière générale.

« Partout où les faîtes pourront être traversés par des inclinaisons maxima qui ne dépasseraient pas 30 à 35 millimètres, je crois qu'en employant une voie très-forte et des machines locomotives très-puissantes, et en couvrant cette voie d'une galerie pour la mettre à l'abri des influences atmosphériques [1], on atteindra le but de la manière la plus économique, c'est-à-dire en évitant autant que possible les terrassements et les travaux d'art par l'emploi de rampes très-fortes et très-multipliées, et de courbes très-prononcées.

« L'unique condition à remplir pour profiter de tous les progrès que l'art a fait faire aux machines locomotives est de soustraire celles-ci à l'influence de l'état atmosphérique, qui en affaiblit l'adhérence.

« Mais il est probable qu'il se présentera dans la configuration du sol des dispositions qui forceront de dépasser les limites d'inclinaison indiquées ci-dessus.

« Les faîtes des Pyrénées, par exemple, présentent sur les versants du midi des inclinaisons généralement assez faibles; sur les versants du nord, au contraire, des inclinaisons très-abruptes.

« Ce phénomène est tellement général, que l'on peut dire que la disposition contraire est exceptionnelle. On assure qu'il en est de même pour les Alpes, dont les versants seraient beaucoup plus abrupts du côté de l'Italie que du côté de la France.

« Cette disposition des lieux peut nécessiter des rampes d'une inclinaison supérieure à celles que les locomotives peuvent franchir.

« Dans ce cas, l'emploi du système atmosphérique me paraît le plus susceptible de tous de fonctionner d'une manière complétement indépendante de l'état de l'atmosphère, et, en conséquence,

[1] Nous avons dit ailleurs que la voie dans les souterrains était ordinairement recouverte de matières grasses qui diminuent l'adhésion. Cela tient principalement à la chute de l'eau chargée de terre qui suinte souvent de la voûte. Le même effet n'aurait pas lieu sur des voies au-dessus desquelles auraient été établis des combles courbes en fer ou en bois comme ceux que proposerait sans doute M. Flachat pour les mettre à l'abri des influences atmosphériques.

je n'hésiterai pas à en conseiller l'emploi, en prescrivant de l'établir immédiatement aux dimensions nécessaires pour remorquer, sans être obligé de les partager, les trains que les machines locomotives pourraient amener au pied des rampes.

« A l'aide de ce moyen, je crois qu'il n'est presque pas, parmi les cols reconnus, un seul qui ne puisse être traversé sans souterrain ou avec des souterrains d'une faible longueur.

« La voie devrait alors être établie de manière qu'une certaine quantité de neige tombant sur le sol ne puisse la couvrir, et, dans tous les cas, qu'elle puisse être facilement enlevée; le système atmosphérique présenterait sous ce rapport des moyens infiniment plus efficaces que les machines locomotives.

« On a objecté à l'emploi du système atmosphérique dans les pays de montagnes la difficulté que l'on éprouverait à graisser la soupape dans les temps de gelée.

« Je crois qu'il est possible d'en améliorer la construction de manière à se passer de graisse. S'il était indispensable d'en employer, on pourrait la fabriquer de façon que les basses températures n'eussent qu'une faible action sur elle. J'en ai fait l'expérience jusqu'à dix degrés au-dessous de zéro.

« Je ferai enfin une dernière observation sur la longueur des tubes. Je ne voudrais pas dépasser 3 kilomètres de longueur de tubes par machine, et je compterais dans le calcul de l'effort de traction un vide correspondant au plus à 37 cent. d'abaissement du mercure.

« Il y a un inconvénient réel à donner trop de longueur au tube. Je crois que, bien que tous les joints soient faits avec des matières qui ont une certaine élasticité, nous devons attribuer aux mouvements de la dilatation la mobilité de ces joints et les réparations auxquelles ils donnent lieu. Des compensations seraient nécessaires à des distances plus rapprochées que nous ne les avons placées. Cet entretien est d'ailleurs coûteux. »

CHAPITRE XII

DES MACHINES LOCOMOTIVES

HISTOIRE DES LOCOMOTIVES.

La première machine locomotive qui ait paru sur un chemin de fer sortait des ateliers de MM. Trewithick et Vivian. On essaya cette machine en 1804, sur le chemin de fer de Merthyr-Tydwill, dans le pays de Galles. Elle ne remorquait que 10 tonnes de poids utile à la vitesse de 8 kilomètres. MM. Trewithick et Vivian avaient pris dès 1802 un brevet pour l'application de la vapeur à la locomotion sur les routes ordinaires. Ayant rencontré de nombreuses difficultés, ils avaient bientôt abandonné les routes ordinaires pour les chemins de fer; mais le peu d'adhérence des roues sur les rails paraissait opposer un obstacle invincible à l'emploi de machines puissantes: c'est ce qui conduisit d'abord à proposer de pratiquer des rainures transversales sur les jantes des roues ou de les garnir de clous, puis à placer au milieu de la machine une roue dentée s'engrenant avec une crémaillère placée entre les deux files de rails (fig. 444). Ces machines, inventées en 1811 par M. Blenkinsop, n'avaient que le nom de commun avec les machines actuelles. La chaudière, construite dans le système d'Olivier Evans, était cylindrique et traversée dans toute sa longueur par un gros tube qui plongeait dans le liquide, et à l'extrémité duquel se trouvait le foyer. La combustion n'y était activée que par les moyens ordinaires, c'est-à-dire par une grande cheminée faisant suite au gros tube. Les cylindres étaient verticaux, les roues étaient en fonte, et

le châssis n'était pas suspendu sur ressorts. Sur quelques chemins, on remplaça la roue dentée et la crémaillère par des jambes mobiles qui se soulevaient l'une après l'autre derrière la machine, et qui, reposant sur le sol, servaient de points d'appui à la tige d'un piston glissant dans un cylindre horizontal (fig. 445), machine de Brunton, 1813.

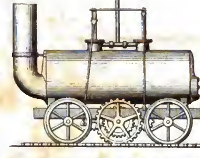


Fig. 444. — Machine à crémaillère de M. Blenkinsop.

Bientôt après, M. Blackett fit faire un grand pas au système de la locomotion. Il détermina par expérience l'adhérence des roues sur les rails, et prouva qu'elle était suffisante pour permettre aux machines

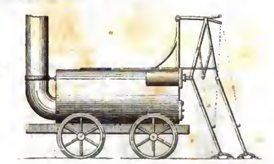


Fig. 445. — Machine de Brunton.

de se mouvoir sur les chemins de fer sensiblement de niveau ou d'une faible inclinaison.

En 1814, George Stephenson construisit une nouvelle machine, dans laquelle, pour utiliser l'adhérence de toutes les roues de la locomotive, il avait mis les trois essieux en relation au moyen de roues dentées et d'une chaine sans fin, comme les figures 446 et 447 l'indiquent. M. Vood, dans son *Traité des chemins de fer*, dit même que les premières roues du tender étaient unies aux der-

nières de la locomotive, comme dans certaines machines essayées longtemps après au Sommering; mais cette disposition, qui n'est pas représentée dans la coupe qu'il donne de cette machine, fut bientôt abandonnée; on reconnut que cette complication était inutile.

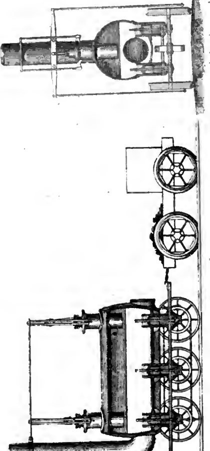


Fig. 446. — Machine à chaîne sans fin de G. Stephenson.

Fig. 447. — Coupe de la même machine.

La chaudière, dans cette machine, était suspendue d'une manière fort ingénieuse au moyen de petits pistons pressés de haut en bas par le liquide et la vapeur. La charge traînée sur un chemin de faible inclinaison n'était que de 30 tonnes, et la vitesse de 6,500 mètres par heure.

A cette machine, M. Stephenson substitua, en 1815, celle représentée figure 448, et dans laquelle M. Hackworth remplaça, en 1825, la chaîne sans fin par une bielle d'accouplement.

De 1815 à 1829, l'art de construire les locomotives resta à peu près stationnaire; mais l'année 1829 sera à jamais mémorable par l'apparition de la première machine à chaudière tubulaire avec tirage au moyen du jet de vapeur dans la cheminée. Ce fut au concours institué par la compagnie de Liverpool à Manchester que l'on vit fonctionner cette loco-

motive. Sa substitution aux anciennes machines opéra une révolution dans l'industrie des chemins de fer. Les machines à chaudière tubulaire produisant, toutes légères qu'elles sont, une quantité de vapeur plus grande que les autres, traînèrent des charges beaucoup plus lourdes et à des vitesses qui avaient été jusqu'alors jugées impossibles même par les hommes les plus expérimentés. Les chemins de fer devinrent ainsi propres au service des voyageurs, et purent même faire concurrence aux voies navigables pour le transport des marchandises. En peu d'années, ils se multiplièrent à l'infini, et le temps n'est pas éloigné où ils remplaceront dans tous les pays riches les routes de premier ordre.

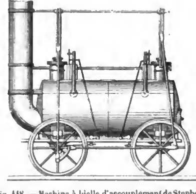


Fig. 448. — Machine à bielle d'accouplement de Stephenson.

Depuis 1829, rien n'a été changé au principe de construction des locomotives. Aujourd'hui comme à cette époque, la chaudière des locomotives est tubulaire, et le tirage est produit par le jet de vapeur. Ces machines sont cependant beaucoup plus puissantes, ce qui tient à l'accroissement de leurs dimensions et à une plus grande perfection dans leurs détails d'exécution.

Le tableau suivant indique les progrès des locomotives à partir de cette époque remarquable.

TABLEAU

INDIQUANT LES ACCROISSEMENTS SUCCESSIFS DE POIDS, PUISSANCE D'ÉVAPORATION, ETC. DANS LES LOCOMOTIVES DEPUIS TRENTE ANS.

MACHINES DIVERSES EMPLOYÉES SUR LES CHEMINS DE FER de 1825 à 1855.	POIDS DE LA MACHINE, Y COMPRIS L'EAU DANS LA CHAUDIÈRE.	CHARGE BRUTE TRAÎNÉE, Y COMPRIS LE TENDER[2].	VITESSE A L'HEURE EN MARCHE.	POIDS DE L'EAU ÉVAPORÉE PAR HEURE.	COMBUSTIBLE BRULÉ POUR TRANSPORTER UNE TONNE A 1 KILOMÈTRE.	SURFACE DE CHAUFFE PAR RAYONNEMENT.	SURFACE DE CHAUFFE PAR CONTACT.
	tonnes.	tonnes.	kilom.	kilog.	kilog.	m. c.	m. c.
1825. — Anciennes locomotives.	6 à 7	40	9,65	450	0,450	1,06	2,76
1825. — *Fusée*, première machine tubulaire.. . .	4 30	38	25,00	850	0,200	1,86	10,94
1834. — Fire-Fly.	» »	40	43,30	1,978	0,210	» »	» »
1838. — Harwey-Combe. . . .	» »	50	51,00	2,300	0,170	» »	» »
1855. — Mixtes, de l'Est. . . .	22 40	120	45,00	2,900	0,054	5,06	67,15
— De moyenne vitesse, de l'Est.	24 25	100	55,00	3,000	0,080	6,34	71,85
— De grande vitesse, Crampton, de l'Est .	27 80	88	80,00	3,200	0,080	8,65	88,92
— Petite vitesse, marchandises, de l'Est. .	27 30	315	30,00	3,200	0,033	7,25	93,24
— Machine des Ardennes.	32 50	365	30,00	5,000	0,032	8,05	116,65
— Machine Engerth.. . .	56[1] 00	700	23,00	» »	» »	9,70	186,70

[1] Y compris le tender, qui n'est pas distinct de la machine.
[2] Nous indiquons la charge traînée sur un chemin dont la pente peut s'élever jusqu'à 5 millimètres.

D'après M. Gooch, ingénieur du chemin de Londres à Bristol, la puissance d'évaporation des machines de la voie large atteindrait 8,000 kilogrammes.

Le poids de l'eau évaporée varie, du reste, entre des limites assez écartées, suivant la manière dont on fait travailler les machines et la vitesse. Nous supposons le cas du travail habituel des machines avec la vitesse indiquée au tableau. Les machines Crampton, dans d'autres conditions, évaporent jusqu'à 5,700 kilos d'eau par heure.

Tout en augmentant la puissance des locomotives, on en a réduit considérablement les frais d'entretien.

Les auteurs du *Guide du mécanicien* admettent que les machines construites depuis une dizaine d'années fournissent un parcours total de 50 pour 100 plus élevé que celui des anciennes machines avant d'entrer en grandes réparations.

Les pièces sont aujourd'hui mieux agencées et mieux proportionnées; elles sont aussi fabriquées avec des matériaux de meilleure qualité. Toutes les pièces frottantes sont aciérées. La fonte est remplacée par le fer, le fer remplacé par l'acier corroyé, l'acier puddlé ou l'acier fondu.

On a enfin augmenté la puissance de vaporisation des machines non-seulement en augmentant la surface de chauffe, mais encore en améliorant notablement la qualité du combustible employé.

La première application de la chaudière tubulaire paraît avoir été faite en 1828, sur le chemin de Saint-Étienne à Lyon, par M. Marc Séguin, à l'époque même du concours qui eut lieu sur le chemin de Liverpool. Le tirage, dans les machines sorties des mains de ce constructeur, produit par un simple ventilateur, présentait de graves inconvénients. Les uns attribuent à Thimoty Hackworth, d'autres à Pelletan, d'autres, enfin, à George Stephenson, l'honneur d'avoir le premier employé pour ce tirage le jet de vapeur dont les effets sont si efficaces. Toujours est-il que ce fut des ateliers de Robert Stephenson que sortit la *Fusée* (the Rocket) (fig. 449), qui remporta le prix au concours de Liverpool. On assure aussi que M. Booth, secrétaire général de la compagnie de Liverpool à Manchester, a conçu l'idée de la chaudière tubulaire et l'a appliquée sur le chemin de Liverpool en même temps que Marc Séguin l'appliquait sur celui de Saint-Etienne.

Quoi qu'il en soit, adoptant l'ordre chronologique, nous citerons parmi les ingénieurs ou industriels qui ont le plus contribué au progrès des machines locomotives, MM. Trewithick et Vivian, Blenkinsop, Brunton, Blackett, George Stephenson, Hackworth, Nicolas Wood, Marc Séguin, Booth, Robert Stephenson, Sharp Robert, Crampton et Engerth; mais nous croyons juste de mentionner tout

spécialement, parmi ces hommes de mérite, les deux Stephenson et Séguin aîné.

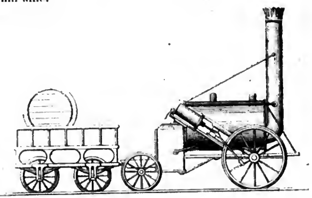


Fig. 449. — La *Fusée* de R. Stephenson.

George et Robert Stephenson. — George Stephenson n'a pas seulement construit les premières locomotives faisant un service passable sur les chemins de fer, et appliqué à ces machines le mode de tirage qui a rendu possible l'emploi de la chaudière tubulaire; il a, le premier, adopté les rails en fer malléable, construit le chemin de Darlington pour le transport du charbon à de grandes distances, et il a acquis un titre impérissable à la reconnaissance de la postérité, en établissant, malgré d'immenses difficultés d'exécution et la plus vive opposition de la part du public, le premier chemin de fer à grande vitesse, celui de Liverpool à Manchester.

Robert, après avoir fabriqué la machine à laquelle fut décerné le prix au concours de Liverpool, augmenta le premier la puissance des locomotives, apporta dans leur construction plusieurs améliorations importantes, telles que la coulisse adoptée généralement pour varier la détente; attacha son nom à la construction d'un grand nombre de lignes importantes non-seulement en Angleterre, mais encore dans la plupart des pays étrangers, en Afrique, en Amérique et en Asie, aussi bien qu'en Europe, et enfin conçut le projet de ce magnifique pont tubulaire en tôle de Menai, sur le modèle duquel tant d'autres ont été depuis lors établis.

Ce qu'il faut dire aussi, après avoir parlé des travaux de George et de Robert Stephenson, c'est leur vie si curieuse, si pleine d'enseignements. George n'était qu'un simple ouvrier mineur : mais la veste du mineur couvrait un homme de génie. George Stephenson finit, non sans peine, par gagner la confiance de ses chefs, et dès lors une brillante carrière lui fut ouverte; mais, s'il avait réussi sans instruction, par la puissance seule de son intelligence, il avait éprouvé combien le défaut de certaines connaissances scientifiques lui avait été nuisible, et il travaillait, la nuit, à raccommoder des montres, afin de gagner quelque argent pour instruire son fils Robert. Heureux père, il fut noblement récompensé, car il eut le bonheur de voir Robert atteindre, si ce n'est dépasser sa propre réputation.

Aujourd'hui Robert Stephenson est le premier des ingénieurs de chemins de fer et le premier des constructeurs de locomotives. Il est membre du parlement anglais et puissamment riche; mais il se glorifie toujours d'être le fils de George, l'ouvrier mineur qui raccommodait des montres afin de pouvoir l'instruire, de George, auquel la ville de Liverpool reconnaissante a élevé une statue.

Séguin l'aîné. — Séguin l'aîné, dont nous avons placé le portrait en tête du second volume, est le neveu de Montgolfier. L'inventeur de la locomotive à grande vitesse est le neveu de l'inventeur des ballons. L'invention des ballons a été accueillie avec un immense enthousiasme; celle de la locomotive à vapeur n'a produit d'abord qu'une faible impression. Quelle différence toutefois dans les résultats de ces deux découvertes !...

Marc Séguin est né à Annonay le 20 avril 1786. Son éducation première fut assez négligée, et peut-être ses brillantes qualités ne se fussent-elles pas développées, s'il n'avait eu le bonheur de rencontrer le meilleur et le plus dévoué des instituteurs dans son oncle Montgolfier, qui avait reconnu ses heureuses dispositions pour l'étude.

En 1820, il débuta dans la carrière des constructions civiles par un coup de maître. On construisait alors de nouvelles routes, et on améliorait celles déjà construites. Il était nécessaire, pour en tirer tout le parti possible, de trouver un moyen de traverser les

rivières à peu de frais. Ce moyen, Séguin le découvrit. Après avoir fait de nombreux et importants essais sur la résistance du fer employé sous différentes formes, il construisit, en se basant sur ces essais, le pont suspendu en fil de fer de Tournon. Ce pont ne coûta que 200,000 francs. Un pont en pierre eût coûté trois fois autant. Malgré les vives oppositions que l'établissement des ponts en fil de fer a rencontrées de la part des ingénieurs de l'Etat en France, plus de quatre cents ponts de cette espèce ont été depuis lors construits sur des points différents, tous d'après des procédés analogues, et c'est encore un pont en fil de fer que les Américains ont construit tout récemment pour le passage d'un chemin de fer au-dessus du Niagara.

En 1825 et 1826, Marc Séguin, associé avec le fils de l'illustre Montgolfier et avec ses frères, fit les premières tentatives de navigation à vapeur sur le Rhône. C'est alors que, pour la première fois, il se servit d'une chaudière tubulaire ; mais une autre occasion allait bientôt se présenter d'employer cette chaudière avec bien plus d'avantage encore.

MM. Séguin frères avaient obtenu en 1825 la concession du chemin de fer de Saint-Etienne à Lyon. Marc Séguin, dès 1827, y fit usage de la chaudière tubulaire à la locomotion. En février 1828, il prit un brevet pour cette chaudière, et ce ne fut que plus d'un an et demi après (octobre 1829) qu'on en vit de pareilles au concours de locomotives sur le chemin de Liverpool à Manchester.

M. Booth, secrétaire de la compagnie de ce chemin, auquel on a quelquefois attribué le mérite de l'invention de la chaudière tubulaire, ou M. Stephenson, le constructeur, avaient-ils connaissance de la chaudière Séguin lorsqu'ils rédigèrent leur projet, ou bien ont-ils eu la même pensée en même temps ou à peu près ? C'est une question que nous ne résoudrons pas. Il est fort possible que deux hommes de génie aient eu la même pensée à la même heure.

Nous avons vu les premières locomotives à chaudière tubulaire de Séguin fonctionner. Elles produisaient beaucoup plus de vapeur que les anciennes ; mais le tirage opéré par l'air que projetaient les roues à palettes ne se faisait pas dans les meilleures conditions. On substitua à ces roues le jet de vapeur. Ce fut un nouveau progrès.

L'exécution du chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon présentait de grandes difficultés. La plupart des ingénieurs de ce temps proposaient de les surmonter au moyen de plans inclinés, comme on le faisait alors sur un grand nombre de chemins aux environs de Newcastle. Séguin ne recula pas devant ces travaux considérables, que nécessitaient une pente et les courbes d'un rayon de 500 mètres. Il avait deviné l'avenir. C'est le propre des hommes de génie qui devancent leur époque. Nous avons entendu Stephenson lui-même exprimer son admiration pour ce tracé, que tant d'autres considéraient alors comme défectueux.

Séguin l'aîné, il est juste de le dire, fut puissamment secondé dans ses travaux par ses frères Camille, Paul et Charles, habiles dans l'exécution, habiles dans l'administration.

En 1837, nous retrouvons Séguin s'occupant de nouveau de la navigation à vapeur sur le Rhin. En 1839, lorsqu'on hésitait encore sur le parti à prendre pour la construction du réseau français, il publia un ouvrage qui fit grande sensation ; cet ouvrage était intitulé : *De l'influence des chemins de fer et de l'art de les tracer et de les construire.*

Patron de toutes nos gloires, Arago avait apprécié les services rendus par Séguin à la science et à l'industrie : il fut, en 1842, nommé, sur sa présentation, membre correspondant de l'Académie des sciences.

Travailleur infatigable, Séguin l'aîné, déjà chargé d'années, étudie encore une nouvelle machine fonctionnant toujours avec la même vapeur, à laquelle on restituerait à chaque coup de piston la chaleur qu'elle a perdue en produisant l'effet mécanique, et il se livre à des recherches scientifiques sur la cohésion, recherches sur lesquelles nous n'oserions émettre une opinion, mais qui, peut-être, ont une grande portée.

Qui ne croirait que l'inventeur de la locomotive a été comblé des faveurs de souverains dont les États ont vu leur prospérité s'accroître si rapidement par l'établissement des chemins de fer ? Il n'en est rien cependant. Séguin l'aîné, simple chevalier de la Légion d'honneur, vit dans la retraite modeste, ignoré presque ; mais c'est une noble figure que celle de ce patriarche de l'indus-

trie, entouré d'une belle et nombreuse famille, sans cesse occupé de perfectionner son œuvre.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA LOCOMOTIVE.

Généralités. — Les locomotives sont des machines à vapeur accompagnées de leur chaudière, de leur foyer et de leur cheminée, montés sur un chariot spécial placé en tête du train qu'elles remorquent.

L'ingénieur qui s'occupe de l'étude des locomotives a deux qualités principales à rechercher, la *puissance* et la *légèreté;* mais elles ne suffisent pas : il faut encore que ces machines qui traînent à grande vitesse de lourds convois de voyageurs présentent toutes les garanties possibles de sécurité ; il faut enfin qu'elles marchent avec économie et régularité.

Toutes les locomotives présentent certaines dispositions d'ensemble que nous allons d'abord décrire.

Une locomotive (fig. 310) se compose des trois parties principales suivantes :

1° Une chaudière munie de son foyer et de sa cheminée ;

2° Un mécanisme moteur composé de cylindres, pistons, bielles et manivelles ;

3° Un train de voiture consistant en un grand cadre rectangulaire (*châssis*) porté sur roues et essieux.

Dans les anciennes machines, le mécanisme était fixé à la chaudière, laquelle était à son tour solidement attachée au châssis. Actuellement le mécanisme est directement fixé à ce châssis, qui supporte également la chaudière. Nous verrons plus loin les avantages qui résultent de cette disposition.

La vapeur agit sur les pistons et leur communique un mouvement de va-et-vient. Celui-ci est transformé en un mouvement de rotation de l'un des essieux de la machine par l'intermédiaire des bielles et des manivelles. Les roues qui sont fixées sur cet essieu, dit *essieu moteur*, ne peuvent tourner que si elles roulent sur la voie en entraînant dans leur mouvement la machine et le train auquel elle est attelée, ou si elles glissent sur les rails sans avancer.

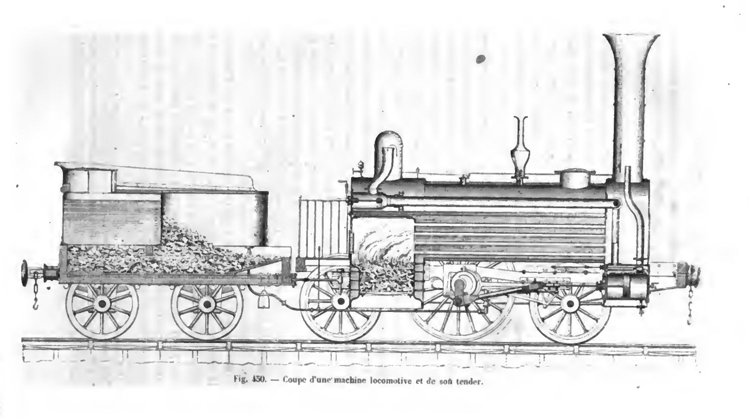


Fig. 450. — Coupe d'une machine locomotive et de son tender.

Ce dernier effet ne se produit que si la résistance que rencontrent les roues à la surface des rails, résistance que l'on nomme *adhérence*, est insuffisante[1]. L'adhérence dépend principalement du poids de la machine, ou du moins de la pression supportée par les rails sous les roues motrices, et de l'état de l'atmosphère ; mais il ne faudrait pas en conclure que l'on ait été conduit à donner aux locomotives le poids énorme qu'elles atteignent actuellement par la nécessité d'empêcher le glissement ; bien au contraire, tous les efforts des hommes qui s'occupent de la construction de ces machines tendent à les rendre aussi légères que le permettent la prudence et l'économie de l'entretien du service.

Nous avons cru devoir insister tout d'abord sur ce fait peu connu des personnes étrangères à l'industrie des chemins de fer. *On voit surgir tous les jours des systèmes souvent fort ingénieux, dont le but est d'obvier au manque d'adhérence des locomotives, tandis que leur poids seul, poids qui est déterminé par les effets qu'on veut leur faire produire, excède généralement, sauf de rares exceptions, celui qui est nécessaire pour produire cette adhérence.*

La chaudière des machines locomotives diffère essentiellement des chaudières ordinairement employées pour les machines fixes. Elle est du système tubulaire, qui seul réalise le but qu'on se propose, savoir, de produire la plus grande quantité de vapeur possible avec un appareil de poids et de dimensions fort limités.

Elle se compose de trois parties principales : la *boîte à feu*, qui contient le foyer ; le *corps cylindrique*, qui entoure les tubes, et la *boîte à fumée* surmontée de la cheminée.

Boîte à feu. — La *boîte à feu* (A, fig. 451), située à l'arrière de la machine, comprend le *foyer* et *son enveloppe*. Le foyer est une capacité de forme rectangulaire fermée à sa partie supérieure par une paroi qu'on appelle *ciel du foyer*. Sa surface intérieure est en contact avec le combustible, qui est disposé sur la grille G ; sa surface extérieure est entourée d'une couche d'eau de 7 à 10 centi-

[1] On entend généralement par *adhérence* la force qui s'oppose à la séparation de deux corps en contact. — Dans les machines locomotives l'adhérence est la résistance au glissement ; elle est égale au frottement de glissement des roues sur les rails. Cette expression est vicieuse en ce qu'elle peut jeter de la confusion dans les idées ; mais elle est consacrée par l'usage.



mètres d'épaisseur contenue dans une enveloppe qui suit les contours du foyer jusqu'à la hauteur du ciel. Cette enveloppe est surmontée d'un dôme semi-cylindrique ou pyramidal.

Les parois planes résistent mal à la pression de la vapeur; c'est pourquoi il faut les consolider par de nombreuses armatures dont nous décrirons plus loin la disposition. Dans certaines machines anglaises et américaines, on a donné au foyer la forme cylindrique; dans ce cas, le ciel et le dôme sont semi-sphériques, les armatures ne sont plus indispensables; mais, à volume égal, la surface de chauffe est considérablement diminuée.

Corps cylindrique. — Dans le *corps cylindrique* (K, fig. 451), nous distinguons deux parties principales : les *tubes* et l'enveloppe. Les tubes, au nombre de 100 à 300, sont de petits cylindres de 30 à 50 millimètres de diamètre intérieur, dont la longueur varie de 2^{m},40 à 5 mètres. Ils sont fixés par l'une de leurs extrémités dans la paroi antérieure ou *plaque tubulaire* du foyer, et sont traversés dans toute leur longueur par les produits gazeux de la combustion.

Les tubes sont contenus dans un grand cylindre en tôle qui est le *corps cylindrique* proprement dit; celui-ci communique librement avec l'espace qui sépare le foyer de son enveloppe; son but est de contenir l'eau qui baigne les tubes et de servir de réservoir à la vapeur à mesure qu'elle se forme. Les extrémités antérieures des tubes et du corps cylindrique sont fixées sur une forte plaque de tôle, dite *plaque tubulaire de la boîte à fumée*.

Boîte à fumée. — La *boîte à fumée* (F, fig. 451) est la capacité dans laquelle se rendent les produits de la combustion après avoir traversé les tubes. Sa forme est très-variable, mais elle porte toujours à sa partie supérieure la cheminée par laquelle la fumée s'échappe dans l'atmosphère.

La surface du foyer reçoit directement l'action du combustible; on lui donne le nom de *surface de chauffe par rayonnement*. Celle des tubes, n'étant chauffée que par les gaz qui les traversent, est dite *surface de chauffe par contact*.

Dans les machines ordinaires, c'est une cheminée d'une grande hauteur qui produit le tirage en se remplissant d'air chaud. Il n'en

est pas de même dans les machines locomotives. La hauteur de leur cheminée est trop faible et la résistance qu'éprouve l'air en traver-

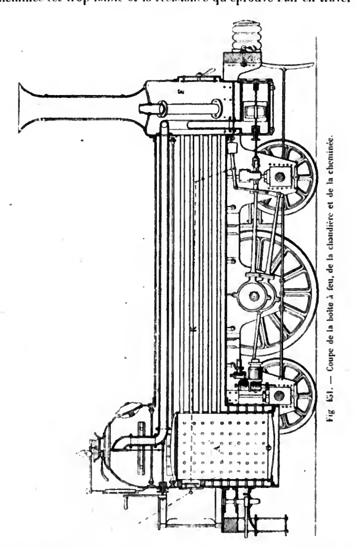


Fig 151. — Coupe de la boîte à feu, de la chaudière et de la cheminée.

sant les tubes trop grande pour que les moyens ordinaires de tirage soient suffisants. Dans ces machines, la principale cause du tirage

est la vapeur qui, après avoir agi sur les pistons, s'échappe avec rapidité dans la cheminée et entraîne mécaniquement à sa suite une grande quantité d'air [1].

Il en résulte que les machines locomotives ne peuvent être ni à condensation ni à basse pression. Elles marchent ordinairement sous la pression de huit à neuf atmosphères.

La chaudière tubulaire, le tirage par le jet de vapeur, sont deux traits caractéristiques des machines locomotives.

La chaudière tubulaire avec le tirage par le jet de vapeur est adoptée aujourd'hui sur tous les chemins de fer du monde. Sans elle on ne pourrait réaliser cette vitesse qui a placé les chemins de fer au premier rang parmi les voies de communication.

On comprend aisément que, dans les chaudières tubulaires, le courant d'air chaud se trouvant en contact avec les parois à chauffer par un beaucoup plus grand nombre de points que dans les chaudières chauffées extérieurement, la quantité d'eau évaporée, et par conséquent la quantité de vapeur produite, doit être plus considérable. C'est précisément cette grande production de vapeur dans un certain temps qui, pouvant produire un travail mécanique considérable dans ce même laps de temps, permet de traîner de lourdes charges à de grandes vitesses. Les anciennes chaudières, qui ne contenaient qu'un tube de grand diamètre, produisaient peu de vapeur; aussi ne pouvait-on guère, en traînant une charge raisonnable, dépasser la vitesse de 12 à à 16 kilomètres par heure. Actuellement on atteint sans difficulté des vitesses de 80 à 100 kilomètres.

La faculté que possèdent les machines locomotives de produire une grande quantité de vapeur, eu égard à leur faible volume et à leur faible poids, ne tient pas uniquement à l'étendue de leur surface de chauffe, mais encore à la grande puissance vaporisatrice de

[1] Ce phénomène est analogue à celui qui se produit dans les *trompes*, sorte de soufflets fréquemment employés dans les Alpes et les Pyrénées, dans lesquels l'air est entraîné par le mouvement d'une colonne d'eau tombant d'une grande hauteur. Il est dû à l'élargissement brusque de la veine fluide qui passe sans intermédiaire d'une faible section à une section plus grande. L'étude des effets qui se produisent dans ces circonstances constitue une partie très-intéressante et très-féconde en applications de l'hydraulique.



chaque unité de cette surface. Ainsi l'on a reconnu que, dans les machines locomotives, le mètre carré de surface de chauffe produit de deux à trois fois autant de vapeur que dans les chaudières des machines fixes, et que la même quantité de combustible produit bien plus de vapeur dans une chaudière tubulaire que dans une chaudière à fourneau extérieur. Cela tient évidemment à la division du courant gazeux produit par la combustion en un grand nombre de courants partiels qui se refroidissent plus promptement et plus complétement, et, en outre, à la faible épaisseur des tubes, ceux-ci n'ayant que 2 millimètres d'épaisseur, tandis que les tôles des chaudières ordinaires ont de 11 à 13 millimètres.

Outre l'avantage précieux de produire une très-grande quantité de vapeur dans un certain temps, les machines locomotives jouissent de la propriété remarquable d'être à peu près INEXPLOSIBLES. Du moins n'y a-t-il que peu d'exemples de machines qui aient éclaté, sur plusieurs milliers qui ont été construites depuis une dizaine d'années; et encore cela tenait-il à ce que les fabricants avaient négligé de consolider d'une manière satisfaisante les parties de la boite à feu dont la forme réclamait de puissantes armatures, ou à ce que ces chaudières étaient affaiblies par leur long service.

Les locomotives qui ont fait explosion, en très-petit nombre d'ailleurs, étaient à l'état de repos. Une machine provenant d'un chemin des environs de Paris et déjà fatiguée par le service a éclaté tout récemment en marche sur le chemin de Bordeaux à Bayonne.

Il a éclaté deux machines sur le chemin de fer de l'Est. L'une, qui était employée aux terrassements, a éclaté au repos. C'était une vieille machine très-fatiguée. L'autre était une machine presque neuve encore. Elle a éclaté également au repos, et ce qu'il y a de curieux, c'est que dans le cas c'est le corps cylindrique de la chaudière qui s'est brisé. Ce cas de la rupture du corps cylindrique ne s'était présenté jusqu'alors à notre connaissance sur aucun chemin. On ne peut l'expliquer que par la mauvaise qualité de la tôle formant l'enveloppe du corps cylindrique.

Cette propriété des chaudières de locomotives d'être à peu près inexplosibles tient tout à la fois à leur mode de construction et au mode de tirage. Le dôme au-dessus du foyer et les parois autour de

ce foyer étant convenablement consolidés, ce sont les tubes qui doivent céder les premiers quand il y a excès de pression et qui font ainsi office de véritables soupapes de sûreté. Ces tubes, effectivement, dans les machines les mieux construites, crèvent assez souvent quand ils sont amincis par l'usage; mais il n'y a pas explosion.

L'eau projetée dans le foyer par la pression de la vapeur diminue aussitôt l'activité du feu; il suffit alors de chasser dans chaque bout du tube crevé un tampon en bois blanc que l'eau de la chaudière empêche de brûler, et l'on peut continuer à se servir de la machine sans le moindre danger jusqu'au moment où il est possible de remplacer les tubes endommagés.

Le mode de tirage contribue aussi à préserver de l'explosion; car, le tirage par la vapeur cessant aussitôt que la machine est arrêtée, la production de vapeur se trouve considérablement réduite, et la vapeur ne peut s'amasser dans la chaudière de manière à la faire éclater. Lorsqu'au contraire le tirage est actif, c'est que la machine marche à une grande vitesse; elle dépense alors la vapeur à mesure qu'elle se forme.

Dans les machines fixes, les choses se passent d'une tout autre manière. Le tirage de la cheminée étant indépendant de la dépense de vapeur, il peut se produire dans certains moments, par la négligence du chauffeur, une grande quantité de vapeur, qui, n'étant pas employée, doit être débitée par les soupapes, et qui cause l'explosion si celles-ci ne fonctionnent pas convenablement.

Réservoir de vapeur. — L'eau ne remplit pas entièrement l'enveloppe du foyer et des tubes; elle laisse un certain espace entre son niveau et la partie supérieure de cette enveloppe. Cet espace, dans lequel se rend la vapeur à mesure qu'elle se forme, se nomme le *réservoir de vapeur*. Il est important que cet espace soit aussi grand que possible, afin d'éviter que la vapeur entraîne avec elle de l'eau non vaporisée; on cherche à l'augmenter, soit en donnant au dôme de la boîte à feu des dimensions considérables, soit en ajoutant en un point quelconque un dôme additionnel qu'on appelle *dôme de prise de vapeur*.

Depuis quelque temps on renonce à cette dernière disposition,

qui ne remplit que très-imparfaitement le but qu'on se propose, et l'on préfère augmenter le diamètre du corps cylindrique.

Prise de vapeur. — La vapeur se rend du réservoir dans les cylindres par un tube spécial de grand diamètre. Ce tube, nommé *tube éducteur* ou *tube de prise de vapeur*, présente deux dispositions très-différentes. Dans les chaudières qui ont un dôme de prise de vapeur, il part de la partie la plus élevée de ce dôme, descend verticalement jusqu'à une petite distance de la surface de l'eau, se recourbe à angle droit et devient horizontal. Il reste ainsi horizontal pendant tout son trajet dans le corps de la chaudière; puis, arrivé à la plaque tubulaire de la boîte à fumée, il traverse cette plaque, se recourbe de nouveau à angle droit, redevient vertical et se subdivise en deux branches qui vont aboutir aux boîtes à vapeur attenant aux cylindres. Un mécanisme particulier, qu'on nomme *régulateur*, fait partie de cette conduite; il sert à modérer ou à arrêter complétement le courant de la vapeur qui se rend dans les cylindres.

Quand il n'y a pas de dôme, la vapeur est prise simultanément dans toute la longueur de la chaudière par un tube horizontal placé aussi haut que possible. A cet effet, ce tube est percé, suivant sa génératrice la plus élevée, de petits orifices longs et étroits, de sorte qu'il présente d'un bout à l'autre des fentes presque continues dans lesquelles la vapeur se précipite à mesure qu'elle se forme, sans avoir léché la surface de l'eau en ébullition. Ce tube débouche dans une capacité où se trouve le régulateur; la vapeur, après avoir traversé cet appareil, se rend dans les boîtes à vapeur par deux tubes placés généralement en dehors de la chaudière.

Cylindres. — Les cylindres, logés dans le bas de la boîte à fumée ou sur les côtés, et plus ou moins inclinés à l'horizon, sont toujours au nombre de deux. Ces deux cylindres étant parfaitement semblables, ainsi que leurs mécanismes de distribution et de transmission de mouvement, nous n'en décrirons qu'un seul.

Le cylindre (fig. 452) dans lequel se meut le piston P est fermé à l'arrière par un fond F que traverse la tige du piston, à l'avant par le couvercle C, qui est disposé de manière à pouvoir être enlevé facilement quand on doit réparer le piston. La boîte à vapeur B

fait généralement corps avec le cylindre; elle communique avec ses deux extrémités par deux canaux qu'on appelle *lumières d'introduction l' l'*. Une troisième lumière L, dite *lumière d'échappement*, fait communiquer la boîte à vapeur avec le tuyau d'échappement qui se rend dans la cheminée. La section de ces lumières est un rectangle allongé (fig. 453); celle d'échappement est plus large, mais de même longueur que celle d'introduction. La surface plane sur laquelle débouchent ces lumières dans la boîte à vapeur se nomme *table du cylindre*; elle est parfaitement dressée.

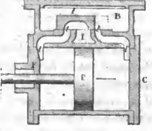


Fig. 452. — Cylindre.


Fig. 453. — Lumières d'introduction.


Fig. 454. — Tiroir.

Le *tiroir t* (fig. 454), sorte de caisse renversée, repose sur cette table et glisse sur elle, suivant qu'il se trouve dans l'une ou l'autre des positions indiquées dans la figure 452; l'avant du cylindre communique avec la boîte à vapeur, l'arrière avec le tuyau d'échappement ou à l'inverse. Il est dès lors évident que, quand le tiroir occupe la position indiquée en lignes pleines, la vapeur vient presser contre la face antérieure du piston, et le force à se mouvoir dans le sens de la flèche en refoulant dans le tuyau d'échappement la vapeur qui se trouve derrière lui. Mais si, au moment où le piston arrive au bout de sa course, le tiroir se déplace et vient occuper la position que nous avons indiquée en lignes ponctuées, l'inverse a lieu, et le piston, marchant en sens contraire de la flèche, vient reprendre la position de laquelle il était parti. C'est en déplaçant ainsi le tiroir chaque fois que le piston est arrivé à bout de course que l'on parvient à donner au piston le mouvement de va-et-vient qui fait avancer la machine.

Nous avons dit plus haut que l'on attachait une grande impor-

tance à ce que la vapeur arrivât dans la boîte à vapeur sans être mélangée d'eau; cette importance est réelle; nous allons chercher à la démontrer.

L'eau et la vapeur contenues dans la chaudière ont la même température; c'est ce qui résulte de l'étude des lois de physique relatives aux vapeurs *saturées*, c'est-à-dire produites en présence d'un excès de liquide. Si donc la vapeur qui se rend dans les cylindres entraîne avec elle de l'eau de la chaudière, cette eau est à une haute température qu'elle a acquise aux dépens de la chaleur développée par le foyer. Mais elle n'exerce aucun travail mécanique sur le piston; bien au contraire, elle diminue celui qui aurait été produit par la vapeur sèche, en augmentant dans une large proportion la résistance qu'éprouve la vapeur à son passage dans les divers conduits qui l'amènent aux cylindres. Il y a donc consommation de chaleur en pure perte et diminution de l'effet utile de la vapeur.

De plus, si l'eau entraînée dans les cylindres y arrive en grande quantité, il en résulte quelquefois des ruptures quand cette eau, refoulée par le piston contre l'un des fonds, ne trouve pas une issue assez grande.

Mécanisme de transmission. — La tige du piston traverse le fond du cylindre; elle est guidée dans son mouvement rectiligne par la tête de la tige du piston (fig. 455), qui est forcée de se mouvoir entre les glissières *gg*. Cette tête reçoit l'une des extrémités de la bielle motrice *b*, sorte de grand levier en fer forgé qui la relie avec la manivelle de la roue.

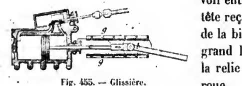


Fig. 455. — Glissière.

La manivelle consiste quelquefois en un coude de l'essieu qui porte les roues motrices, et qui prend alors le nom d'essieu coudé; dans ce cas, les cylindres sont compris entre les roues. D'autres fois, c'est un renflement du moyeu de la roue motrice dans lequel est fixé un bouton de manivelle. Les cylindres sont alors extérieurs aux roues, et la bielle s'assemble sur ce bouton.

Quand le piston est à bout de course, les axes de la manivelle,

de la bielle et du piston se trouvent sur une même ligne droite. Si dans ce moment la vapeur vient presser sur le piston pour le faire rétrograder, le mouvement peut avoir lieu indifféremment dans un sens ou dans l'autre; on dit alors que la manivelle est à l'un de ses *points morts*. Pour chaque révolution complète de la manivelle, il y a deux points morts (fig. 456 et 457). On conçoit aisément qu'une machine qui aurait un seul appareil moteur ne pourrait se

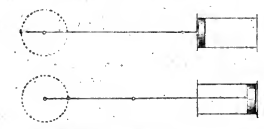


Fig. 456 et 457. — Manivelles aux points morts.

mettre en marche si elle se trouvait arrêtée de manière que la manivelle fût au point mort. C'est pourquoi l'on a toujours deux mécanismes semblables dont les manivelles sont à angle droit. Cette disposition est aussi fort utile quand l'un de ces mécanismes vient à se déranger en route; on peut alors, dans la plupart des cas, continuer à marcher avec un seul piston, en prenant seulement les précautions nécessaires pour passer les points morts à chaque démarrage.

Le mouvement des tiroirs, étant tout à fait analogue à celui des pistons, s'obtient de la même manière. Seulement les manivelles sont remplacées par des excentriques.

L'excentrique consiste en un disque circulaire en métal calé sur l'essieu moteur, de manière que l'axe de ce disque ne coïncide pas avec celui de l'essieu. La course du tiroir est le double de la distance qui sépare les deux centres (*excentricité*), comme la course du piston est le double de la longueur de la manivelle.

La dépense de vapeur dans les locomotives est considérable, et il faut remplacer l'eau de la chaudière à mesure qu'elle est évaporée. A cet effet, la machine est munie de deux pompes aspirantes et

foulantes qu'on appelle *pompes alimentaires*. Elles prennent l'eau dans le *tender* ou chariot d'approvisionnement attelé derrière la machine; le tender porte aussi le combustible qu'un ouvrier spécial, le *chauffeur*, charge de temps en temps sur la grille du foyer. Tantôt ce sont les pistons qui communiquent directement leur mouvement aux pompes, tantôt ce sont les excentriques qui les font marcher.

Il est souvent nécessaire de changer le sens de la marche de la machine; un mécanisme particulier, qui est à la portée du mécanicien, sert à opérer cette manœuvre. Il s'appelle *levier de changement de marche.*

Enfin il existe dans quelques machines un appareil spécial qui sert à utiliser la *détente* de la vapeur en interceptant l'entrée de ce fluide dans les cylindres avant la fin de chaque course.

Tous ces appareils sont assez compliqués, et leur description nous détournerait du but que nous nous sommes proposé dans ce premier paragraphe, destiné à donner une idée générale d'une machine locomotive. Nous consacrerons à leur étude un paragraphe spécial, quand nous nous occuperons des détails des machines locomotives.

Châssis et roues. — Le châssis qui porte la chaudière et le mécanisme ressemble beaucoup au châssis des waggons ordinaires. Il en diffère cependant en ce qu'il n'est pas muni de ressorts de choc et de traction comme ce dernier.

Le nombre des roues est de quatre, de six ou de huit. En général, dans les machines employées actuellement en Europe il est de six.

Dans les machines qui servent à remorquer les trains de voyageurs à grande vitesse, on donne un grand diamètre aux roues placées sur l'essieu moteur (roues motrices), et des diamètres plus petits aux autres roues.

L'augmentation du diamètre des roues motrices permet d'augmenter la vitesse de marche des trains, ce qui convient aux trains de voyageurs.

En effet, le chemin parcouru par la machine dans un temps donné est égal au développement du cercle extérieur des roues

motrices multiplié par le nombre de tours qu'ont fait ces roues dans le même temps.

Si donc on veut augmenter la vitesse de la marche, il faut augmenter le nombre des coups de piston ou le diamètre des roues. Mais les pièces du mécanisme qui sont mises en mouvement par la vapeur ne peuvent pas dépasser un certain nombre d'oscillations dans l'unité de temps sans qu'il en résulte une perte notable dans l'effet utile de la vapeur et une prompte détérioration des surfaces frottantes; il faut par conséquent que les machines à voyageurs aient de grandes roues motrices. Le diamètre de ces roues varie de 1^{m},68 à 2^{m},30, suivant la nature du service auquel elles sont affectées, et l'on construit même, en Angleterre, des machines à roues de 2^{m},60.

Le diamètre des roues de machines à marchandises varie de 1^{m},06 à 1^{m},50. Pour un tour de roue, une machine à marchandises parcourt donc un espace moindre qu'une machine à voyageurs.

Deux machines dont les chaudières, cylindres, pistons, etc., seraient les mêmes, mais dont les roues seraient entre elles comme 1 est à 2, produiraient pendant un tour de roue le même travail mécanique. Or ce travail est égal, pour chaque machine, à l'effort qu'elle exerce sur le convoi entier qu'elle remorque pour lui faire conserver la vitesse qu'il possède, multiplié par le chemin parcouru pendant un tour de roue.

Mais la première machine parcourra pendant cette période un espace moitié de celui que parcourra la seconde; l'effort qu'elle exerce devra donc être double pour que le produit reste constant.

Cet effort de traction produit par la pression de la vapeur sur les pistons est transmis par les bielles et les manivelles aux roues motrices qu'il tend à faire glisser sur les rails. Nous avons dit que ce glissement est empêché par l'*adhérence* des roues motrices, laquelle est proportionnelle à la pression qu'elles exercent sur la voie; il faut donc que les machines à marchandises aient leurs roues motrices plus chargées que celles à voyageurs. Afin d'éviter l'excès de fatigue qui résulterait pour la voie d'une surcharge locale trop considérable, on a été conduit à rendre motrices une ou deux des

paires de roues qui, dans les machines à voyageurs, ne servent qu'à supporter la fraction du poids qui n'est pas nécessaire pour produire l'adhérence.

A cet effet, on munit ces roues et les roues motrices proprement dites de manivelles auxiliaires de même longueur, et l'on réunit les boutons de ces manivelles par des bielles dites d'*accouplement* ou de *connexion*, de sorte que tout mouvement de rotation des roues motrices est nécessairement reproduit par celles qui leur sont couplées.

Toutes les fois que des roues sont couplées avec les roues motrices, elles doivent avoir exactement le même diamètre que ces dernières; leurs axes se trouvent donc dans un même plan horizontal. Si alors les cylindres sont intérieurs, leur axe est nécessairement incliné à l'horizon pour que la tige du piston ne rencontre pas l'essieu d'avant dans son mouvement quand c'est l'essieu d'arrière qui est couplé.

DISPOSITIONS D'ENSEMBLE DES MACHINES-LOCOMOTIVES.

Modèles divers.

Si toutes les machines en usage aujourd'hui sur les chemins de fer présentent sans aucune exception l'ensemble des dispositions que nous venons de décrire, elles diffèrent toutefois entre elles soit par quelques dispositions spéciales, par l'agencement des différentes parties dont elles sont composées, les dimensions de ces parties, etc. Il en résulte des modèles variés de locomotives, modèles que nous allons passer en revue.

On prend ordinairement sur les chemins de fer comme base du classement des machines locomotives le service auquel elles sont destinées. Ainsi l'on distingue :

Les machines locomotives,

1° Pour le service des trains de voyageurs à moyenne vitesse;

2° Pour le service des trains à grande vitesse;

3° Pour le service à moyenne vitesse des trains mixtes, composés en partie de waggons de voyageurs et en partie de waggons de marchandises;

Macchina locomotiva di Sharp e Roberts

Tav. 37

4° Pour le service à petite vitesse des trains à marchandises;

5° Pour le service des gares et lignes de petit parcours (machines-tenders).

Nous ne décrirons comme machines de voyageurs pour le service de la moyenne vitesse que les machines qui font exclusivement ce service.

Nous avons fait une classe séparée des machines mixtes, parce que si elles font très-souvent le service de trains composés uniquement de waggons de voyageurs, elles remorquent souvent aussi des trains mixtes composés de waggons de voyageurs et de waggons de marchandises.

Quant aux machines-tenders, nous avons cru devoir en former une cinquième classe, parce qu'elles doivent être plus spécialement consacrées à un service particulier, celui des gares. Les machines-tenders toutefois font souvent le service des trains de voyageurs sur les chemins de faible parcours (chemin de Saint-Germain), ou celui des marchandises sur des chemins à fortes pentes (partie des chemins de fer du Nord). Ne portant qu'une quantité d'eau assez limitée, elles sont peu convenables pour les longs parcours. On a tenté, à la vérité, d'en faire usage sur une grande ligne, celle du Midi, mais sans succès.

Machines à voyageurs marchant à une vitesse moyenne.

Parmi les machines à voyageurs à moyenne vitesse, nous décrirons d'abord la machine employée en 1839 et 1840 sur les chemins de Saint-Germain et de Versailles, modèle Sharp-Roberts, aux dispositions duquel on est revenu plus ou moins complétement sur plusieurs chemins après s'en être écarté considérablement.

Type Sharp-Roberts, 1840. — Dans cette machine, représentée figure 458, la boîte à feu a intérieurement 1,05 de longueur et 1,02 de largeur.

La surface de chauffe par rayonnement a 5,87 mètres carrés et la surface de chauffe totale 55,80. Le corps cylindrique de la chaudière a 2,45 de longueur. Les tubes ont 0,04 de diamètre intérieur, et ils sont au nombre de 162.

Les cylindres sont placés au bas de la boîte à feu, entre les roues,

et le mouvement est communiqué à l'essieu du milieu, à l'aide de coudes ménagés sur cet essieu. C'est sur l'essieu coudé que sont fixées les grandes roues, dites roues motrices.

Le châssis repose par l'intermédiaire des boîtes à graisse sur les fusées des essieux, en dehors des roues, comme dans les voitures à voyageurs. Il est alors extérieur aux roues.

Deux essieux, celui des roues motrices et celui des roues d'avant, sont placés entre la boîte à feu et la boîte à fumée. Le troisième essieu est placé à l'arrière de la boîte à feu.

Le centre de gravité tombe entre les roues du milieu et les roues d'avant, le poids se trouve distribué entre les essieux de manière à surcharger l'essieu d'avant.

Les trois paires de roues se meuvent indépendamment les unes des autres, l'adhérence en vertu de laquelle le mouvement de progression de la machine a lieu n'est produite qu'en vertu de la charge des roues motrices.

Ancien type Stephenson de 1845. — Dans les machines Stephenson (fig. 459), substituées en 1845 aux machines Sharp-Roberts, et employées alors exclusivement sur presque toutes les nouvelles lignes, la disposition des éléments de la machine est sensiblement différente.

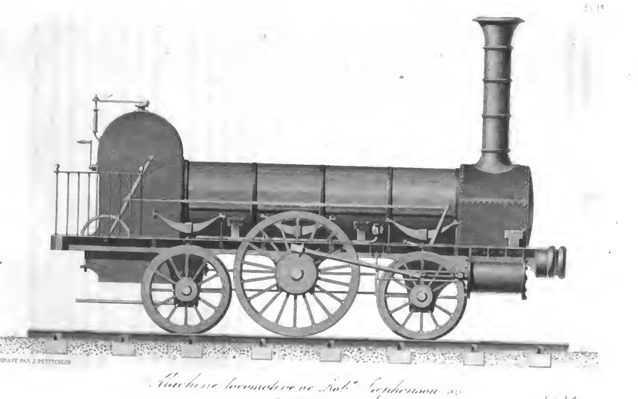
La longueur intérieure de la boite à feu n'est que de 0,95 et la largeur de 0,90, la surface de chauffe par rayonnement de 5,00; cette surface de chauffe est donc plus petite que dans les machines Sharp-Roberts.

En revanche, les tubes ont 3,95 de longueur au lieu de 2,45; ils ont 0,057 de diamètre, sont au nombre de 139, et la surface de chauffe totale est de 69 mètres carrés.

Le châssis repose sur les fusées des essieux à l'intérieur des roues.

Les trois essieux sont placés entre la boîte à feu et la boîte à fumée. L'écartement des essieux extrêmes est de $3^m,01$ au lieu de $3^m,44$.

Les cylindres sont placés latéralement à la boite à fumée, et les pistons communiquent le mouvement à l'essieu du milieu à l'aide de manivelles ménagées sur l'essieu à l'extérieur des roues.



Machine locomotive de Robᵗ Stephenson

Tout le mécanisme pour la mise en mouvement des tiroirs dans une direction ou dans l'autre est placé sous la chaudière. Le mouvement est donné aux tiges des pistons des pompes foulantes par les excentriques de la marche en arrière.

Allongement du corps cylindrique. — M. Stephenson, en allongeant le corps cylindrique de la chaudière, a eu pour but principal de tirer meilleur parti de la chaleur emportée par le courant d'air, ou, en d'autres termes, de dépouiller plus complètement ce courant de la chaleur en allongeant le chemin qu'il parcourt de la boîte à feu à la cheminée. Il a aussi augmenté la surface de chauffe par contact. D'un autre côté, cet accroissement de longueur du corps cylindrique de la chaudière eût entraîné, si l'on eût conservé à l'essieu d'arrière la position qu'il occupe dans la machine Sharp-Roberts, un accroissement d'écartement des essieux extrêmes. M. Stephenson, pour diminuer cet écartement et faciliter le passage dans les courbes, a transporté cet essieu de l'arrière de la boite à feu à l'avant.

Exiguïté du foyer. — Il en est résulté que, la boîte à feu se trouvant en porte à faux, on n'a pu lui donner une grande longueur. Aussi reproche-t-on à ces machines l'exiguïté de leur foyer, dont la longueur se trouve restreinte par sa position en porte à faux et la largeur par une installation entre les deux longerons d'un châssis intérieur. Cet inconvénient s'aggrave si le combustible employé, comme cela arrive assez fréquemment sur nos chemins français, n'est pas de première qualité.

Les machines à voyageurs du modèle Stephenson 1843 ont aussi le défaut de n'être pas suffisamment chargées à l'avant, surtout quand le dôme est pyramidal, comme dans la machine figure 459. Il arrive souvent que dans quelques-unes de ces machines le centre de gravité tombe au-dessus de l'essieu-moteur, en sorte qu'elles se trouvent pour ainsi dire en équilibre sur cet essieu.

Des machines de cette espèce, dont l'essieu d'avant est faiblement chargé et dont les essieux extrêmes sont aussi peu écartés, sont d'une part exposées à dérailler en se soulevant à l'avant, et elles ont un mouvement oscillatoire qui non-seulement les fatigue beaucoup, mais qui peut contribuer aussi à les jeter hors de la voie.

Dôme pyramidal. — On critique justement dans les machines Stephenson du modèle de 1845 (fig. 459) le dôme pyramidal. Il charge outre mesure l'essieu d'arrière de la machine et affecte une forme qui le rend plus sujet que tout autre à explosion. On est obligé de le consolider par des tirants qui en augmentent le poids.

Dans un grand nombre de machines du même modèle construites plus récemment, on a adopté la prise de vapeur système Crampton, que nous décrirons plus loin.

Châssis intérieur, avantages et défauts. — Le châssis intérieur a été adopté par M. Stephenson dans le but de réduire les frais de construction de la machine. Quelques personnes pensent aussi que les machines à châssis intérieur, dans le cas de la rupture d'un essieu, sont moins dangereuses que celles à châssis extérieur. C'est une erreur qu'il importe de combattre. Voici l'argument produit en faveur de cette thèse : une machine locomotive étant en mouvement, les essieux sont sollicités à se rompre par deux forces :

1° Le poids de la machine qui agit de haut en bas verticalement ;

2° La pression qui a lieu entre le rebord de la roue et le rail, quand, par une cause quelconque, la machine se déplace latéralement. Cette pression tend à renverser la roue en dehors de la voie, en brisant l'essieu en dedans contre le moyeu.

Quand le châssis est extérieur, le poids de la chaudière et du mécanisme tend à produire le même effet que la pression latérale, et, si l'essieu se brise, la rupture ayant toujours lieu en dedans des roues, contre le moyeu, la roue s'incline en dehors jusqu'à ce qu'elle ait rencontré le châssis contre lequel elle s'appuie et quitte le rail (fig. 460).

Si au contraire le châssis est intérieur, le poids qui presse sur la fusée tend à chasser le boudin de la roue en dehors de la voie, tandis que la pression latérale tend à produire l'effet contraire; ces deux effets se contre-balancent donc jusqu'à un certain point. La rupture de l'essieu ayant toujours lieu en dedans de la fusée en *a* (fig. 461), le poids de la chaudière renverse la roue en dedans, elle s'incline jusqu'à ce que le boudin s'appuie contre le rail, et alors, au lieu de s'éloigner du rail, comme dans le cas du châssis exté-

rieur, elle s'en rapproche. Il arrive donc que la roue, bien qu'inclinée, ne quitte pas la voie.

Ce raisonnement serait juste si, dans les machines à châssis intérieur, l'essieu se cassait en *a* au delà de la fusée; mais il arrive

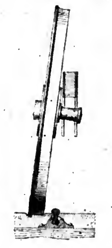


Fig. 460. — Rupture d'essieu avec châssis extérieur.

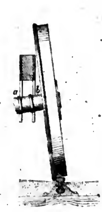


Fig. 461. — Rupture d'essieu avec châssis intérieur.

au contraire plus fréquemment que la rupture a lieu en *b*, tout contre le moyeu.

La roue alors se détache complétement en se jetant hors de la voie, et la machine déraille nécessairement en tournant sur elle-même si elle est à quatre roues, et si, étant à six roues, c'est l'essieu d'avant qui s'est brisé. Un accident de ce genre, arrivé sur le chemin de Londres à Birmingham avec une machine à quatre roues, est venu prouver le danger réel que présentent les machines à cadre intérieur quand il y a rupture de l'un des essieux.

Avec les machines à châssis extérieur, il est vrai que la roue quitte le rail en s'inclinant; mais, comme cette roue continue à être soutenue par le cadre pendant quelques instants, elle roule sur le sable et maintient la machine mieux que ne le ferait une roue de machine à châssis intérieur, qui se détacherait entièrement du châssis.

On a cru pendant longtemps que, lors de l'accident du 8 mai, les roues ou du moins l'une des roues de devant de la machine qui était à châssis extérieur s'étant renversée par suite de la rupture de l'essieu, la machine avait basculé.

Une étude plus attentive des faits a conduit à reconnaître que la machine n'avait pas en réalité basculé. Elle était seulement sortie de la voie, et très-probablement le déraillement n'avait pas été la conséquence mais bien la cause de la rupture de l'essieu. La machine déraillée avait été soutenue pendant son trajet de près de 100 mètres par les roues de devant en partie renversées.

Les machines locomotives à châssis extérieur sont donc tout aussi sûres, si ce n'est moins dangereuses, que celles à châssis intérieur.

L'usage du cadre et des boîtes à graisse intérieurs ont d'ailleurs l'inconvénient de forcer à donner aux fusées un plus grand diamètre nécessaire pour conserver aux essieux une force suffisante, d'où il résulte que le travail du frottement est augmenté d'une manière très-sensible. Cette disposition a encore l'inconvénient d'augmenter la tendance de la machine au mouvement oscillatoire latéral (mouvement de lacet), par suite du peu d'assiette qui est la conséquence du faible écartement des boites à graisse. Enfin l'emploi des longerons intérieurs réduit l'espace laissé à la chaudière et au mécanisme. Il force non-seulement ainsi à diminuer la largeur de la boîte à feu, mais encore le diamètre du corps cylindrique, et à entasser toutes les pièces du mécanisme logées sous la chaudière.

Cylindres extérieurs, avantages et inconvénients. — L'emploi des cylindres extérieurs a principalement pour objet d'éviter l'essieu coudé, pièce très-difficile à fabriquer. On a reproché aux cylindres extérieurs de se refroidir plus facilement et aux manivelles extérieures qui en sont la conséquence d'occasionner un grand mouvement de lacet. Les cylindres extérieurs sont en outre, dans le cas d'un seul châssis, très-difficiles à fixer; ils ne sont attachés qu'aux bâtis avec un très-grand porte à faux, et ils doivent être placés complétement en avant des roues, ce qui, dans certains cas, charge trop l'avant, si les roues ont un diamètre un peu grand.

Enfin ils rendent difficile l'agencement des bielles dans les machines à roues accouplées.

On en prévient le refroidissement en enveloppant le cylindre de substances non conductrices de la chaleur, et on annule pour ainsi dire le mouvement de lacet en faisant un usage judicieux des contrepoids. Les cylindres extérieurs ont sur les cylindres intérieurs l'avantage d'être plus faciles à visiter et à réparer.

La plupart des ingénieurs anglais ont conservé les cylindres intérieurs et l'essieu coudé dans les machines à voyageurs, aussi bien que dans celles à marchandises. De ce nombre il faut citer M. Stephenson, qui, abandonnant son modèle de 1845 pour revenir à l'ancien modèle de Sharp-Roberts ou à peu près, a envoyé à la grande Exposition française de 1855 une machine à voyageurs avec essieu coudé et châssis extérieur.

D'autres ingénieurs, tels que M. Polonceau, rejettent l'essieu coudé pour les machines à voyageurs devant marcher à grande vitesse, mais le conservent pour celles à marchandises et pour les machines mixtes.

Anciennement, lorsque les machines locomotives étaient plus légères et qu'elles étaient presque uniquement appliquées à remorquer des trains légers de voyageurs, les essieux coudés des machines à cylindres intérieurs duraient fort longtemps et effectuaient des parcours de plus de 200,000 kilomètres avant leur mise hors de service. Mais, depuis que les grandes lignes sont en exploitation, les essieux coudés, appliqués surtout aux machines à marchandises, ont moins bien résisté; un grand nombre se sont rompus, et, malgré les efforts des fabricants pour améliorer leurs produits, ils cassent encore. Au chemin de l'Est, après neuf années d'exploitation, plus de 80 essieux coudés ont été remplacés. Le parcours moyen des essieux cassés a été de 91,000 kilomètres. Plusieurs lignes ont maintenant des essieux coudés en acier fondu de M. Krupp. MM. Petin, Gaudet et compagnie en ont aussi livré quelques-uns. L'acier fondu est incontestablement supérieur au fer pour la fabrication des essieux coudés, mais il est encore extrêmement coûteux en France.

Aux chemins de fer de l'Est, nous rejetons l'essieu coudé d'une

manière absolue pour toute espèce de machine. Nous avons reconnu qu'en général les essieux coudés en fer, quelque bien fabriqués qu'ils soient, se rompent après un certain temps d'usage beaucoup plus facilement que les essieux droits.

Mécanisme intérieur, inconvénients. — Nous ne saurions approuver la disposition du mécanisme du type Sharp-Roberts (fig. 458). Nous avons déjà fait observer que l'espace manquait pour le loger convenablement quand on fait usage du châssis intérieur. Nous ajouterons qu'il est alors plus difficile à visiter et à entretenir que s'il se trouve à l'extérieur, comme dans les machines Crampton.

Nous critiquerons également la mise en mouvement des pompes par les excentriques de la marche en arrière. La communication directe du mouvement des pistons des machines à vapeur aux pistons des pompes de Sharp-Roberts, en liant les tiges de ces pistons à ceux des pompes par des entretoises, est plus simple et entraîne une perte de force moins grande.

Tiroirs horizontaux et verticaux. — La table des tiroirs, dans les anciennes machines de Sharp-Roberts, est placée horizontalement au-dessus du cylindre; c'est ce qu'on appelle des tiroirs horizontaux. Stephenson, dans ses premières machines à cylindres extérieurs, les a placés verticaux à l'intérieur.

Les tiroirs horizontaux de Sharp-Roberts nécessitent une transmission de mouvement très-compliquée que l'on évite au moyen des tiroirs verticaux de Stephenson. Cette simplification du mécanisme dans les machines Stephenson doit être incontestablement considérée comme une grande amélioration.

Type du chemin de Lyon, 1846. — Au chemin de Lyon on a adopté en 1846 pour le service des voyageurs un modèle intermédiaire entre le modèle Sharp-Roberts et le modèle Stephenson, modèle dans lequel on a cherché à éviter les inconvénients des deux systèmes.

Dans le modèle de Lyon (fig. 462), le corps cylindrique de la chaudière a 3m,41 de longueur, intermédiaire entre la longueur de la chaudière Sharp-Roberts (2m,43) et la longueur de la chaudière Stephenson 1845 (3m,95).

L'essieu placé en avant de la boîte à feu dans la machine Ste-

phenson est en arrière de cette boîte, comme dans le modèle Sharp-Roberts.

Les cylindres sont extérieurs, comme dans le modèle Stephenson.

Ce modèle a été depuis lors modifié, surtout en ce que la capacité du réservoir de vapeur, qui était insuffisante, a été augmentée.

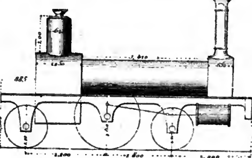


Fig. 462. — Machine du chemin de Lyon.

Type du chemin du Nord. — Au chemin du Nord on a déplacé l'essieu qui se trouvait en avant de la boîte à feu dans un grand nombre de machines Stephenson, modèle de 1845 (fig. 463), à l'origine de l'exploitation, en le transportant à l'arrière, et on a annulé le mouvement de lacet en équilibrant le poids des pièces à l'aide d'un système de contre-poids convenablement calculés, sans

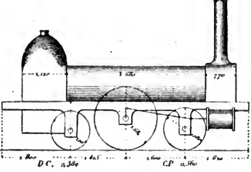


Fig. 463. — Ancienne machine du Nord.

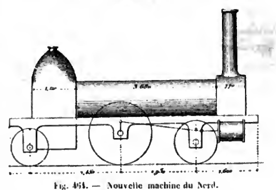


Fig. 464. — Nouvelle machine du Nord.

du reste rien changer aux autres parties de la machine. La figure 464 représente la machine ainsi modifiée. La Compagnie possède encore un grand nombre de ces machines.

Types du chemin de Strasbourg (1846 et 1848). — Au chemin de Strasbourg, les machines à voyageurs employées à l'origine du chemin, construites d'après les mêmes principes que la machine du Nord (fig. 465), en diffèrent toutefois en ce que le dôme au-dessus de la boite à feu est semi-cylindrique au lieu d'être pyramidal et en ce que l'on a placé un réservoir de vapeur spécial près de la cheminée. On a de cette manière diminué les chances d'explosion provenant de la forme du dôme du Nord, réduit la charge sur l'essieu d'arrière et la quantité d'eau entraînée mécaniquement par la vapeur.

Le poids étant mieux réparti que dans les machines du Nord, on a pu continuer à employer ces machines sans déplacer l'essieu d'arrière, ainsi qu'on l'a fait au chemin de fer du Nord. On a d'ailleurs, dans ces machines comme dans celles du Nord, annulé le mouvement de lacet au moyen de contre-poids.

D'autres machines construites plus tard pour le service du même chemin (fig. 465) se rapprochent, pour les dispositions et les dimensions, de celles du chemin de Lyon (fig. 462).

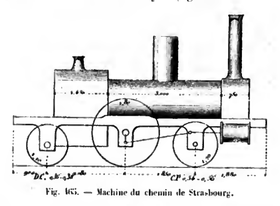


Fig. 465. — Machine du chemin de Strasbourg.

Ces machines du modèle fig. 465 ne sont généralement pas assez puissantes pour le service des trains omnibus des chemins de l'Est. Aussi la Compagnie, depuis cinq ans, a-t-elle commandé,

exclusivement pour ce service, des machines mixtes, que nous décrirons un peu plus loin.

Type de l'Ouest Buddicom. — Sur les chemins de l'Ouest on se sert, pour le service des voyageurs, de machines remarquables par leur légèreté et la bonne répartition de leur poids sur les essieux.

Ces machines (fig. 466), construites sur les types de M. Buddicom, ont un châssis intérieur pour les roues motrices et un châssis extérieur pour les petites roues. Leurs chaudières ressemblent, pour la disposition, à celles des machines du chemin de Lyon, mais leurs tubes sont beaucoup plus courts. Les cylindres sont extérieurs et inclinés, les tiroirs horizontaux et placés au-dessus des cylindres, ce qui complique un peu la transmission. Les essieux sont placés comme dans les machines de Sharp Roberts.

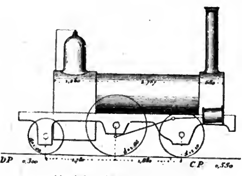


Fig. 466. — Machine de l'Ouest.

Type d'Orléans Polonceau. — Les machines à voyageurs construites par M. Polonceau pour le chemin d'Orléans ont une grande analogie avec celles de M. Buddicom. Elles en diffèrent cependant en ce que la chaudière est plus longue; les cylindres sont horizontaux et les tiroirs disposés de manière à permettre l'emploi de la coulisse. Ces machines, plus puissantes et plus simples de construction que les machines Buddicom, ont aussi sur celles-ci l'avantage d'éviter le mouvement de galop provenant de l'inclinaison des cylindres.

Type des machines américaines. — Sur les chemins améri-

cains et sur quelques chemins allemands, le rayon des courbes est trop petit pour permettre le passage des machines décrites précédemment, dans lesquelles l'écartement des essieux extrêmes est d'au moins 3 mètres. On emploie sur ces chemins des machines du modèle fig. 467.

La machine, y compris le tender, porte alors sur huit roues ou quatre essieux parallèles deux à deux. L'essieu moteur est placé à l'arrière de la boîte à feu. Il supporte, ainsi qu'un second essieu placé en avant, la partie postérieure du châssis et de la chaudière au moyen de ressorts et de boîtes à graisse, comme dans les machines européennes Quant aux deux autres essieux, ils font partie d'un petit chariot spécial qui supporte la partie antérieure de la machine; ce chariot peut tourner indépendamment du châssis principal autour d'un boulon appelé *cheville ouvrière*, fixé sur la chaudière et placé à une petite distance en avant du centre de figure du rectangle formé par ses deux essieux.

Il résulte de cette disposition et du faible écartement des essieux de devant, que ces machines passent sans difficulté dans des courbes de beaucoup plus petit rayon que celles que peuvent parcourir les machines européennes, et que cependant elles ne sont pas sujettes à sortir de la voie, dans laquelle les maintiennent les quatre roues de derrière.

Afin d'éviter les graves accidents qui pourraient résulter de la rupture d'un des essieux de devant, on suspend le cadre de l'avant-train au châssis de la machine par des chaînes. La machine ne sort pas immédiatement de la voie et le mécanicien a le temps de s'arrêter avant qu'un accident soit arrivé.

La petitesse du diamètre des roues d'avant des machines américaines est un obstacle à une marche rapide. Nous avons cependant en Allemagne, avec des machines de cette espèce dont on avait agrandi les roues, atteint des vitesses de 60 à 65 kilomètres à l'heure. On leur reproche aussi de ne pouvoir traîner des charges considérables malgré la grandeur de la chaudière, parce que, les roues étant de diamètre différent, on ne peut les accoupler et obtenir une grande adhérence. Mais cette objection s'applique plutôt aux machines américaines à marchandises qu'aux machines à voyageurs.

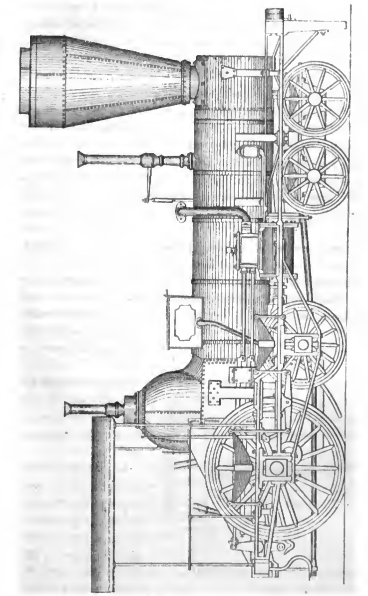


Fig 467. — Machine à voyageurs américaine.

Type à quatre roues du chemin de Turin à Gênes. — Sur le chemin de Turin à Gênes, les rampes au passage des montagnes étant très-inclinées (voir la description du tracé, page 258 du premier volume), les machines à voyageurs ordinaires eussent été insuffisantes pour les gravir. On y emploie des machines-tenders à quatre roues attelées dos à dos.

Un seul mécanicien peut alors desservir les deux machines.

M. Meyer, ancien élève de l'École centrale, ingénieur en chef du matériel au chemin Victor-Emmanuel et au chemin de l'Ouest, a introduit plusieurs améliorations importantes dans la construction de ces machines. Il s'est appliqué à les rendre indépendantes à volonté, afin qu'on puisse les employer soit seules soit accouplées, suivant le poids des trains, l'état des rails et l'inclinaison du chemin.

Anciennes machines à quatre roues. — Toutes les machines que nous avons décrites, à l'exception de celles de Turin à Gênes, sont à six roues au moins. Dans l'origine des chemins de fer on ne se servait que de machines à quatre roues seulement.

Les fig. 468 et 469 représentent deux de ces anciennes machines à quatre roues, différant un peu par leur disposition.

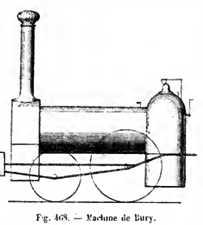


Fig. 468. — Machine de Bury.

La première est le modèle dit Bury, du nom du constructeur. La seconde, le modèle Fenton-Murray.

Les machines Bury se distinguaient surtout par leur légèreté. Elles ont été employées pendant plusieurs années sur le chemin de Londres à Birmingham. Elles ont fait également un excellent service sur le chemin de Saint-Germain.

Avantages respectifs des machines à quatre ou à six roues. —

Les raisons qui ont fait abandonner les machines à quatre roues pour celles à six sont indiquées dans une lettre que nous écrivait en 1837 le célèbre ingénieur et constructeur de machines Robert Stephenson ; nous en reproduisons l'extrait qui suit :

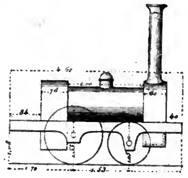


Fig. 169. — Machine Fenton-Murray.

« Dans les machines que je regarde comme les meilleures pour le transport des voyageurs à de grandes vitesses, les cylindres ont 12 pouces de diamètre, la course du piston est de 18 pouces. La chaudière est portée sur *six roues*, dont quatre ayant 3 pieds et demi de diamètre et deux 5 pieds. Le poids de la machine est d'environ 11 tonnes et le prix de 1,450 livres sterling.

« Une machine de même force nominale portée sur quatre roues ne coûterait que 1,300 livres sterling; mais la chaudière serait sensiblement plus petite, moins solide et beaucoup plus sujette aux dégradations. Mon but principal, en répartissant le poids de la machine sur six roues au lieu de quatre, est de m'assurer les moyens d'employer une grande chaudière sans augmenter la charge sur les rails. Ces machines peuvent remorquer 100 tonnes brutes sur un chemin de niveau à la vitesse de 20 milles à l'heure (32 kilomètres). »

On voit par cette lettre que les constructeurs anglais n'ont pas, ainsi qu'on l'a prétendu, augmenté le nombre des roues dans les machines locomotives afin de prévenir les accidents qui pourraient survenir en cas de rupture d'un essieu.

Le fait suivant vient encore à l'appui de cette assertion. Dans toutes les machines à six roues construites en Angleterre et dans celles imitées en France jusqu'au jour du terrible accident du 8 mai 1842 (rive gauche), le poids était distribué de telle manière, que le centre de gravité de l'appareil se trouvait en avant de

l'essieu moteur placé entre les deux autres. Si donc l'essieu d'avant placé sous la boîte à fumée venait à se briser et à se détacher complétement, la machine devait nécessairement basculer sur l'essieu moteur et *donner du nez* sur le sol, tout comme si elle avait été à quatre roues.

A la vérité, si, dans ces machines à six roues, c'est l'essieu à manivelle qui se brise au lieu de l'essieu de devant, la chaudière conserve son équilibre. Mais, quand cette rupture a lieu dans une machine à quatre roues, il est rare que l'essieu coudé, qui est soutenu ordinairement en six ou même en huit points, se détache complétement, et, comme la machine est soutenue en outre par son tender, il n'en résulte généralement rien de grave. Sur le chemin de Montpellier à Cette, la rupture d'un grand nombre d'essieux coudés n'a pas occasionné le moindre accident, quoique les machines fussent à quatre roues.

Après l'accident du 8 mai, l'on a construit beaucoup de machines dans lesquelles le centre de gravité se trouvait entre l'essieu moteur et l'essieu d'arrière au-dessus de l'essieu du milieu; mais on s'est bientôt aperçu que cette disposition, qui pouvait convenir pour des machines marchant à des vitesses modérées, était dangereuse pour les grandes vitesses.

En effet, la charge supportée par l'essieu d'avant devenait insuffisante, et les soubresauts violents auxquels il était soumis le faisaient sortir de la voie. L'on avait cherché à obvier à cet inconvénient en faisant les ressorts des roues d'arrière très-rigides; mais ce moyen a été reconnu insuffisant, et l'on a fini par reporter le centre de gravité de la machine en avant de l'essieu moteur, et diminué ainsi les mouvements d'oscillation verticale, moins fâcheux dans les machines à six roues que dans celles à quatre.

Il n'y a que deux positions de la bielle, ses deux points morts, dans lesquelles son action soit dirigée dans le même sens que celle du piston; il en résulte des pressions obliques d'intensité variable sur les glissières. Dans les machines à six roues, l'effet de ces pressions obliques est peu sensible, à cause de la rigidité des ressorts des roues d'arrière; dans celles à quatre roues, au contraire, elles donnent lieu à un mouvement vertical d'oscillation autour de l'es-

sieu, mouvement qui non-seulement est fatigant pour ceux qui sont sur la machine, mais qui a de plus le grave inconvénient de pouvoir occasionner le déraillement.

Ce mouvement, que l'on appelle *galop*, peut être considérablement diminué, même dans les machines à quatre roues, si l'on écarte davantage les essieux en reportant l'essieu moteur à l'arrière de la boite à feu.

Dans les anciennes machines à quatre roues, le galop est si prononcé, qu'une personne qui a l'oreille exercée peut aisément, sans voir une machine, distinguer à sa marche si elle est à quatre ou à six roues.

Les machines à six roues (système anglais) sont donc préférables, sous bien des rapports, à celles à quatre roues, et elles sont les seules en usage aujourd'hui. Mais le grand écartement de leurs essieux extrêmes, écartement qui tend toujours à augmenter, parce que l'on reconnait les avantages des grandes surfaces de chauffe, rend leur passage à grande vitesse, dans les courbes de petits rayons, difficile, et même impossible quand ces rayons descendent au-dessous de certaines limites.

Autre type Stephenson. — Nous devons mentionner enfin, parmi les modèles abandonnés, la machine Stephenson à six roues avec les grandes roues en avant de la boîte à feu (fig. 470).

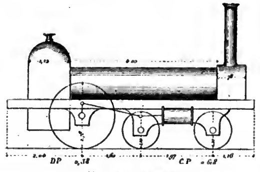


Fig. 470. — Machine Stephenson.

Machines anglaises pour le service des voyageurs à moyenne vitesse. — Un des modèles les plus répandus pour le service des

convois de voyageurs à moyenne vitesse, en Angleterre, est le dernier modèle de Stephenson, avec les roues motrices en avant de la boîte à feu et les autres roues en arrière de la boîte à feu et de la boîte à fumée, corps cylindrique de la chaudière de $3^m,30$ seulement de longueur, prise de vapeur sous un dôme à une certaine distance de la boite à feu, châssis intérieur pour les roues motrices et extérieur pour les autres roues, comme dans les modèles Crampton, Buddicom et Polonceau, cylindres *intérieurs et essieu coudé, boîte à vapeur et mécanisme extérieur.*

Dans le modèle William Fairbairn et dans celui de Sharp, modèles employés également sur un grand nombre de chemins de fer de la Grande-Bretagne, la chaudière diffère peu de celle de Stephenson; le corps cylindrique n'a que 3 mètres de longueur, les roues sont placées de la même manière et les cylindres sont également intérieurs, mais le châssis n'est plus le même. Un châssis extérieur repose sur les fusées des trois paires de roues, et des longerons intérieurs maintiennent l'essieu du milieu et l'essieu d'avant seulement. — Les boîtes à vapeur et le mécanisme sont intérieurs.

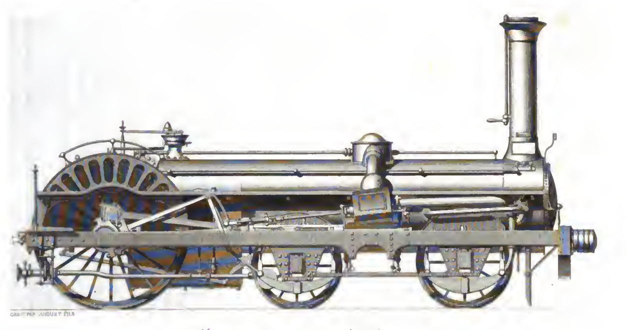
Dans les machines de John Gooch, les cylindres sont extérieurs, la chaudière semblable ou à peu près à celle de Fairbairn, les roues disposées de la même manière que dans cette machine; le châssis est du modèle Stephenson, et la boîte à vapeur ainsi que le mécanisme sont intérieurs.

Machines allemandes pour les trains de voyageurs marchant à de moyennes vitesses. — En Prusse, on se sert généralement, pour le service des trains à moyenne vitesse, de machines dans le système Stephenson avec roues motrices en avant de la boite à feu et à fumée.

On peut considérer comme type de ces machines la machine envoyée à l'exposition française par le fabricant Borsig, de Berlin. Cette machine était à cylindres extérieurs avec châssis et mécanisme intérieurs.

Le dôme pyramidal, abandonné en France et même en Angleterre, a été conservé par Borsig.

Ces machines, d'une puissance médiocre, sont remarquables par leur extrême légèreté. — Cette légèreté tient surtout à l'emploi bien



Machine locomotive de Crampton

entendu de l'acier fondu pour la fabrication de la plupart des pièces et à la bonne entente des détails.

On remarque encore dans la machine Borsig le système de suspension qui rend solidaires, par l'intermédiaire d'un balancier, les quatre ressorts des roues d'avant et du milieu, tandis que l'essieu d'arrière a un ressort transversal. La machine est en quelque sorte suspendue sur trois points. Les glissières des pistons sont quadruples et embrassent un coulisseau mobile qui remplace avec avantage les crosses de pistons ordinaires.

En Autriche, dans le Wurtemberg et dans le pays de Bade, où l'on rencontre souvent sur les chemins de fer des courbes de petit rayon, on se sert fréquemment, pour les convois de moyenne vitesse, de machines dans le système américain *à six roues seulement*, exécutées avec un soin tout particulier. Une partie de ces machines ont été fabriquées sur les plans de notre habile ingénieur Meyer, de Mulhouse.

Machines marchant à de grandes vitesses.

Types des chemins d'Orléans et de l'Ouest. — Sur les chemins d'Orléans et de l'Ouest on emploie pour les trains à grande vitesse, aussi bien que pour ceux à moyenne vitesse, le modèle décrit page 387.

Type Crampton des chemins du Nord, de l'Est et de Lyon. — Sur ceux de l'Est, du Nord et de Lyon, on ne fait usage, pour les trains express, que des machines du modèle Crampton.

Les machines du système Crampton (fig. 471) ont les grandes roues à l'arrière, le centre de gravité très-peu élevé, les essieux extrêmes très-écartés, un foyer de grande dimension, les cylindres et le mécanisme à l'extérieur (voir fig. 471 *bis*). Elles ont, par conséquent, une grande stabilité, une grande puissance, et sont dans d'excellentes conditions pour marcher à de grandes vitesses. Ces machines sont lourdes, puisqu'elles pèsent 30 tonnes, chargées, et elles fatiguent beaucoup la voie, soit à cause de la pression considérable exercée par la charge sur les roues d'avant (10 tonnes), soit à cause du grand écartement des essieux. Les essieux intermédiaires étant peu chargés, la machine Crampton peut être assimilée

à une machine à quatre roues. Les grandes roues des Crampton du chemin du Nord ont 2m,10 de diamètre, celles des Crampton du chemin de Strasbourg, 2m,30.

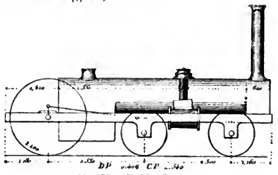


Fig. 471. — Machine Crampton.

L'expérience des machines du système Crampton, employées sur le chemin de fer du Nord, dit M. Lechatelier [1], a démontré que ces machines, autant par le peu d'élévation du centre de gravité que par le grand écartement des supports extrêmes et la bonne répartition de la charge, se comportent d'une manière remarquable dans les accidents auxquels est soumis inévitablement le service des chemins de fer, tels que déraillements, collisions, etc. Dans beaucoup de circonstances où d'autres machines avaient été renversées sur le flanc, celles-ci sont restées debout sur les rails, sur la voie ou même sur les talus des remblais, et ont pu fournir la course nécessaire à l'amortissement de la force vive dont le convoi était animé. « C'est là, ajoute M. Lechatelier, dans ma pensée, un motif qui doit contraindre les constructeurs à s'ingénier pour abaisser le centre de gravité; c'est ce motif qui doit surtout faire proscrire l'usage des cylindres intérieurs et des essieux coudés dans les machines à grande vitesse. »

Les machines Crampton se distinguent encore par la grande dimension de leurs fusées, la solidité de leurs organes, et en particulier du châssis, et la facilité de la surveillance en marche.

Aux chemins de fer de l'Est et du Nord elles font un excellent service et exigent fort peu d'entretien.

[1] *Chemins de fer d'Angleterre en* 1851.

Au passage des courbes elles se fatiguent un peu plus que les autres machines à cause du grand écartement de leurs essieux extrêmes; mais elles n'augmentent pas considérablement, comme on le craignait, les frais d'entretien de la voie.

Comparaison des types précédents. — MM. Buddicom et Polonceau, qui, avons-nous dit, n'emploient pour les trains express que les machines figure 466, page 387, prétendent que, tout en ayant une stabilité suffisante, elles ne présentent pas, comme les machines Crampton, une roideur nuisible à la machine.

Les machines du chemin de Rouen, suivant M. Buddicom, font avec peu de force un service de trains assez chargés, et elles soutiennent une grande vitesse avec une extrême facilité. Pour un même service elles dépensent moins de force et sont par conséquent plus économiques que les machines Crampton.

Cette opinion de M. Buddicom est contestée surtout en ce qui concerne le prix élevé du service avec les machines Crampton.

Type anglais Mac-Connell. — En Angleterre, sur le chemin de Londres à Liverpool, on emploie pour les trains express des machines du modèle figure 472 (machines Mac-Connell).

Une de ces machines a été essayée sur le chemin du Nord. Nous devons à l'obligeance de l'ingénieur de la traction de ce chemin, M. Chobrzynsky, la communication du croquis fig. 472; dans cette machine le foyer est immense et les gaz achèvent de se brûler au delà du pont P, dans la partie du foyer la plus voisine du corps cylindrique de la chaudière, où l'on fait arriver quelquefois un courant d'air. Les tubes sont courts, mais ils sont nombreux et de petit diamètre. Malgré leur peu de longueur, l'air, suivant M. Chobrzynsky, en sortant de la boîte à fumée, est complétement dépouillé de sa chaleur et ils ne paraissent pas, malgré leur faible diamètre, s'obstruer trop facilement. Les houilles qui ne renferment pas au delà de vingt pour cent de matières volatiles et qui ne sont pas trop chargées de cendres, brûlent sans fumée sans qu'il soit nécessaire d'introduire de l'air frais au delà du pont P. Le foyer étant, ainsi que le montre la figure 472, séparé par un bouilleur, on ne charge jamais les deux demi-foyers en même temps, en sorte que, l'un d'eux produisant de la fumée,

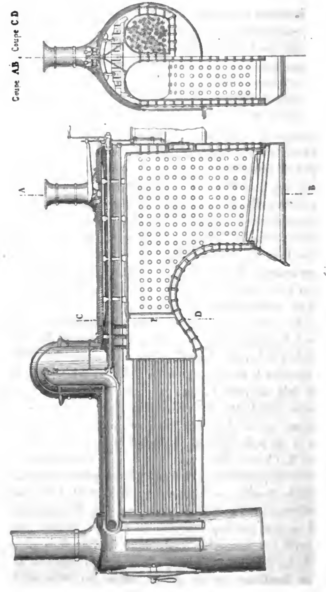


Fig. 472. — Machine Mac-Connell.

l'autre admet un excès d'oxygène qui sert à brûler cette fumée.

On parviendrait peut-être à brûler la fumée de houille renfermant une quantité de matières volatiles plus considérable en introduisant dans de certaines proportions de l'air par au delà du pont P.

Type Crampton modifié, ou type badois. — M. Kessler a construit pour le service à grande vitesse des chemins de fer allemands, où les courbes sont d'assez faible rayon, des machines Crampton avec avant-train mobile, qui paraissent faire un assez bon service. On trouvera plus loin la description d'une de ces machines.

Machines exposées à Londres. — A l'Exposition universelle de Londres, on remarquait plusieurs machines dans le système Crampton, parmi lesquelles nous en citerons deux qui méritent une mention particulière.

Le *Lord of-Isles* (fig. 473), machine express du Great-Western

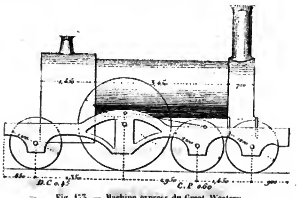


Fig. 473. — Machine express du Great-Western.

railway, chemin à large voie, attirait l'attention par ses dimensions extraordinaires. Cette machine porte sur quatre essieux, dont deux sont à l'avant de l'essieu moteur et le quatrième derrière la boîte à feu.

La *Liverpool* (fig. 474), construite par M. Bury, ne diffère des machines express du chemin du Nord que par les dimensions colossales des surfaces de chauffe et par le nombre des roues. Elle ne présente véritablement d'autre intérêt que celui qui s'attache à la

lutte entre la voie large et la voie étroite. C'est une machine dont les surfaces de chauffe étaient encore plus grandes que celles du

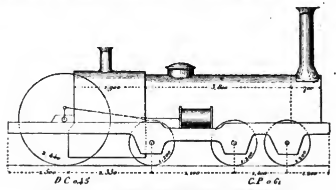


Fig. 474. — La *Liverpool* (chemin de Londres à Birmingham).

Lord-of-Isles, bien qu'elle fût destinée au chemin de Londres à Birmingham, dont la voie est étroite.

Type Stephenson à arbre coudé. — Stephenson a aussi construit des machines à double châssis, intérieur pour les roues motrices, extérieur pour les roues porteuses (fig. 475). Les roues

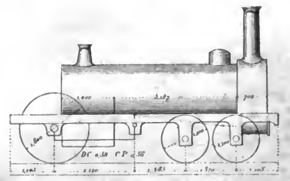


Fig. 475. — Machine à arbre coudé.

motrices, placées derrière le foyer, étaient alors accouplées au moyen de bielles de connexion avec un arbre coudé qui ne portait pas de roues. Cet arbre coudé recevait le mouvement du piston et portait

les excentriques. Les cylindres étaient intérieurs. Ce modèle a eu peu de succès.

Machines anglaises pour les trains express. — Outre les machines dans le système Buddicom, celles dans le système Crampton et les machines Mac-Connell, on emploie en Angleterre, pour les trains express, les machines à grandes roues de Hawthorn, différant peu, pour la disposition, de celles de Buddicom, et les machines Stephenson à trois cylindres. Dans ces dernières machines, dont nous donnerons plus loin une description complète, deux des cylindres sont placés extérieurement latéralement à la boîte à fumée, et les pistons, glissant dans ces cylindres, transmettent le mouvement aux roues du milieu au moyen de bielles et de manivelles extérieures ; le troisième cylindre est placé à égale distance des cylindres extérieurs, et le piston glissant dans ce cylindre est en relation avec l'essieu des roues motrices à l'aide d'un coude ménagé au milieu de cet essieu.

Ces machines, dans lesquelles les pièces sont équilibrées de manière à éviter tout déplacement latéral, font un excellent service sur le chemin de York, Newcastle et Berwick.

Machines allemandes pour le service à grande vitesse. — Indépendamment des machines à train articulé, système Crampton, en usage pour les trains à grande vitesse dans le grand-duché de Bade, on emploie en Prusse des machines du système Borsig, disposées de la même manière que celle déjà décrite, mais dans laquelle les roues motrices sont de plus grand diamètre.

Machines mixtes.

Les machines mixtes aux chemins de fer de l'Est et sur d'autres lignes sont employées presque exclusivement au remorquage des trains de voyageurs, marchant à des vitesses moyennes. Les machines du modèle Stephenson, dont les trois paires de roues sont indépendantes, ne sont pas suffisamment puissantes pour traîner, dans la plupart des cas, les trains souvent très-chargés de nos grandes lignes, même sur des pentes de 5 millimètres, ou des trains moins lourds sur les fortes pentes des chemins suisses.

Ces machines servent aussi à la traction des trains mixtes, c'est-

à-dire des trains composés en partie de waggons à voyageurs et en partie de waggons à marchandises. C'est pourquoi nous les décrivons comme machines formant la transition entre les machines à voyageurs et les machines à marchandises.

Type du Nord. — La figure 476 représente le modèle des anciennes machines mixtes du chemin de fer du Nord.

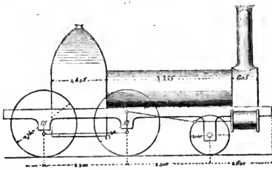


Fig. 476. — Ancienne machine mixte du Nord.

Types de l'Est et de Lyon. — La figure 477 représente les

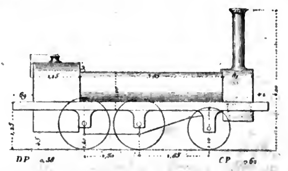


Fig. 477. — Machine mixte du chemin de Strasbourg.

machines mixtes du chemin de Strasbourg, et la figure 478, les machines mixtes du chemin de Lyon.

On remarque que dans le modèle du Nord et dans celui de Strasbourg les roues couplées sont à l'arrière et que dans celui de Lyon elles sont à l'avant. Dans le premier cas, elles sont moins chargées, ce qui est un défaut; d'un autre côté, avec les grandes roues à

l'avant, quelques ingénieurs redoutent une plus grande tendance au déraillement.

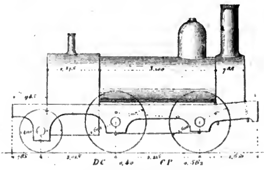


Fig. 478. — Machine mixte du chemin de Lyon.

Types mixtes du chemin d'Orléans. — Dans la machine que représente la figure 479, ce sont les roues d'arrière qui sont couplées, le châssis est extérieur, les cylindres intérieurs et les tiroirs

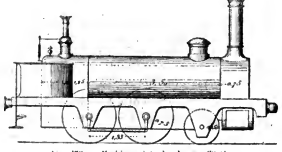


Fig. 479. — Machine mixte du chemin d'Orléans.

extérieurs. Les manivelles d'accouplement sont calées sur l'extrémité des essieux en dehors de la fusée; les trois essieux sont sous le corps du cylindre de la chaudière. M. Polonceau a obtenu une surface de chauffe très-grande en augmentant le diamètre de la chaudière et la largeur de la boîte à feu, par conséquent sans allonger sa machine outre mesure. De plus, les parties les plus délicates sont à l'extérieur et parfaitement à la portée du mécanicien. Les roues sont peu écartées (3^m,125) et les essieux convenablement chargés.

Nouveau type du Nord, système Engerth. — Au chemin du Nord on emploie un système de machines mixtes fondé sur le même principe que la machine à marchandises que nous décrirons plus loin et qui a été construite sur les plans d'un habile ingénieur autrichien, M. Engerth.

Cette machine est combinée de telle façon, qu'une partie du poids de la chaudière repose sur l'un des essieux du tender, et une partie du poids du réservoir d'eau sur l'un des essieux de la machine. On a pu ainsi, tout en employant une chaudière de grande dimension, en répartir le poids de manière à ne pas surcharger les essieux.

La machine et le tender, liés invariablement, ne peuvent se rapprocher ni s'éloigner l'un de l'autre, mais une cheville ouvrière permet au tender de se déplacer dans les courbes d'un certain angle dans le plan horizontal indépendamment de la machine.

On trouvera plus loin, dans un article consacré spécialement à la description de la machine mixte du Nord, l'explication détaillée du jeu de cette cheville.

Les deux paires de roues de la machine proprement dite ont $1^m,74$ de diamètre; elles sont couplées. Les trois autres paires de roues, celles du tender proprement dit, sont du diamètre ordinaire des roues de tender et ne sont pas couplées. Chacune des paires de roues couplées porte 11 tonnes. L'adhérence totale est donc de 22 tonnes, la machine pèse en tout 146 tonnes. La cheville est placée entre la deuxième paire de roues de la machine et la première du tender. Les cylindres sont intérieurs avec un essieu coudé en acier fondu. On a dû renoncer aux cylindres extérieurs; parce que la machine eût été beaucoup trop chargée à l'avant, et que l'administration du chemin du Nord a admis en principe qu'elle ne voulait pas, au point de vue de la conservation de la voie, charger ses roues de machines de plus de 11 tonnes.

Machine mixte du chemin de Sceaux. — Nous avons vu que le principal reproche adressé au système des trains articulés de M. Arnoux était de s'opposer à l'emploi des machines puissantes. Il est vrai que pendant fort longtemps M. Arnoux n'a fait usage sur le chemin de Sceaux que de machines à essieux convergents peu

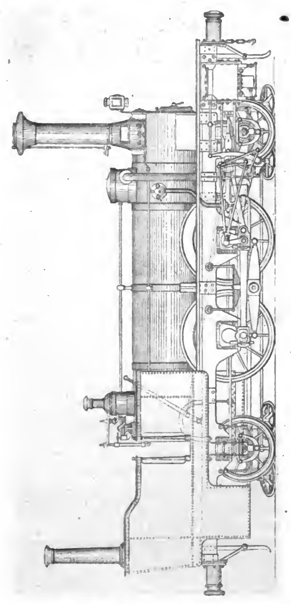


Fig. 480. — Machine mixte du chemin de Sceaux.

adhérentes. Tout récemment il est parvenu à établir des machines mixtes qui, malgré l'accouplement de deux paires de roues, passent dans des courbes de 25 mètres de rayon. La figure 480 représente une de ces machines.

Cette machine est caractérisée par l'emploi de quatre roues conjuguées égales de diamètre, très-rapprochées et presque en contact, portées par des essieux parallèles ; ce sont les roues motrices. Des roues porteuses placées à l'avant et à l'arrière n'ont plus que la mission de diriger la machine au moyen de galets et de porter une partie du poids. Les roues motrices sont à jantes cylindriques *sans bourrelets* et ont 30 centimètres de largeur. Ces machines passent sans trop de difficultés dans des courbes de 25 mètres de rayon.

M. Arnoux, dans la construction d'un premier modèle qu'il a envoyé à l'exposition parisienne, avait cru nécessaire de rendre indépendantes les deux roues motrices d'un même essieu en coupant cet essieu en deux, et il employait un cylindre pour chaque demi-essieu, ce qui ferait quatre cylindres pour la machine. Il a reconnu plus tard que cette complication était inutile.

Machines mixtes des chemins anglais. — Les machines mixtes sont employées, en Angleterre comme en France, pour le transport des voyageurs à des vitesses moyennes tout autant au moins que pour celui des voyageurs et des marchandises dans les trains mixtes.

Dans la plupart des machines mixtes des chemins anglais (modèles de Kitsen, Allan, etc.), les roues couplées, de plus grand diamètre que les roues libres, sont placées à l'arrière de la machine, une paire en avant et l'autre en arrière de la boîte à feu, et les petites roues en avant.

Dans les machines de Kitsen et dans celles d'Allan, les fusées sont intérieures pour les roues couplées, et extérieures pour les petites roues, ce qui nécessite un cadre à doubles longerons. Les cylindres sont intérieurs, ainsi que le mécanisme.

Machines mixtes des chemins allemands et américains. — Dans les machines mixtes des chemins allemands, les quatre roues couplées sont généralement placées à l'arrière de la machine. Tantôt elles se trouvent toutes les quatre entre les deux boîtes, tantôt une paire est à l'arrière de la boîte à feu.

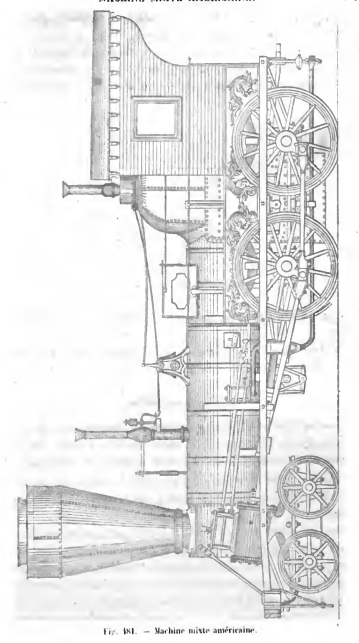


Fig. 181. — Machine mixte américaine.

Le châssis est intérieur et la chaudière de même espèce que celle des machines à voyageurs de Borsig.

La charge des roues d'avant dans ces machines exposait assez fréquemment leurs fusées à chauffer dans les cas de grande vitesse. On a injecté sur les boîtes à graisse un filet d'eau emprunté aux

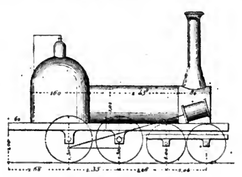


Fig. 482. — Machine mixte américaine.

pompes alimentaires qui prévient très-efficacement cet effet fâcheux.

En Amérique on emploie aussi les machines mixtes. Les figures 481 et 482 représentent deux de ces machines.

Machines à marchandises.

Type de l'Est. — Dans les machines à marchandises des chemins de fer de l'Est (fig. 483), on a continué à placer les trois essieux entre les deux boîtes. De cette manière, le poids supporté par chaque paire de roues est à peu près le même, en sorte que la machine, bien que pesant 27 tonnes, chargée, ne fatigue pas trop la voie.

Type du Nord. — Au chemin du Nord, on a construit des machines très-puissantes pour le service des marchandises (fig. 484), avec l'essieu à l'arrière de la boîte à feu; mais dans ces machines, du poids de 31 tonnes environ, chargées, l'essieu de devant portait une charge de 13 tonnes, ce qui est excessif.

Type du Bourbonnais. — La machine du Bourbonnais, construite

sur les plans de M. Houel, directeur de la fabrique de machines de MM. Derosne et Cail, est extrêmement puissante, ainsi qu'on peut

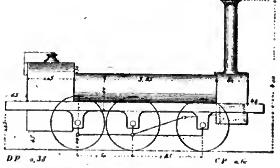


Fig. 483. — Machine à marchandises de l'Est.

le reconnaître à l'inspection des chiffres qui en indiquent les dimensions. Elle est à cylindres et châssis extérieurs. Le porte à faux

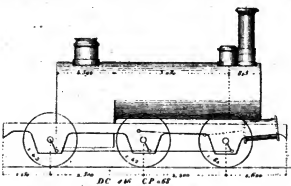


Fig. 484. — Machine du Nord.

sur les essieux extrêmes, bien que considérable, ne paraît pas nuire à la stabilité. La charge sur les essieux est d'ailleurs assez convenablement répartie.

Machine des Ardennes. — La machine à marchandises des Ardennes offre les mêmes dispositions que celle du Bourbonnais. Elle en diffère seulement en ce que sa surface de chauffe du foyer est un peu plus grande et sa surface par contact un peu plus petite.

Type Engerth du Sommering. — Sur le chemin de fer de Vienne

à Trieste on s'est trouvé dans l'obligation de traverser une chaîne de montagnes au moyen de fortes rampes combinées avec des courbes de très-petit rayon.

Le nouveau modèle de machines inventé pour le service de ce chemin par M. Engerth est représenté fig. 485.

La machine proprement dite est liée au tender au moyen d'une cheville ouvrière, établie sur le même principe que celle de la machine mixte décrite page 404. L'ensemble porte sur dix roues.

La machine du Sommering (fig. 485 et 486) se compose de la machine proprement dite et de son tender mis invariablement.

On distingue le train de la machine, composé de six roues accouplées sous la chaudière, et le train du tender, composé de quatre roues accouplées, dont deux supportent une portion du tender qui s'étend au-dessous de la chaudière. Les deux essieux extrêmes du train de la chaudière ne sont écartés que de 1 mètre

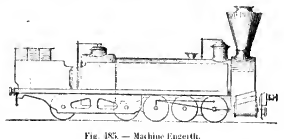
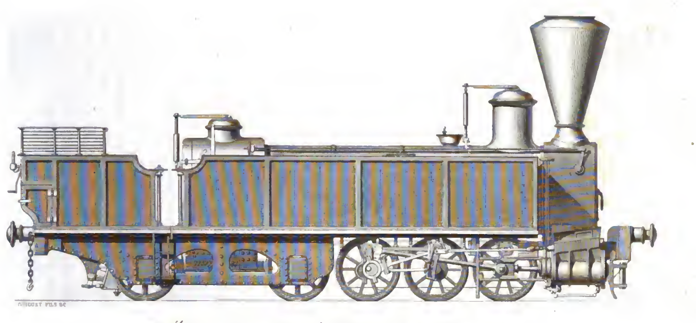


Fig. 485. — Machine Engerth.

et ceux du train du tender de $2^{m},69$. L'essieu de devant du train du tender et celui d'arrière du train de la machine portent des roues dentées qui engrènent avec une roue intermédiaire fixée au train de la machine, en sorte que les dix roues se commandent et que cependant les deux trains peuvent tourner indépendamment l'un de l'autre dans le plan horizontal. C'est cette disposition, permettant aux machines Engerth de passer dans des courbes de petit rayon, qui caractérise cette machine. On peut au besoin, au moyen d'un embrayage, éviter d'employer l'appareil d'engrenage dans les parties du chemin où l'usage n'en est pas indispensable.

Nous indiquions dans notre première édition que l'engrenage



Machine locomotive du Semmering, système Engerth

Fig. 45

faisait un excellent service. Il résulterait de nouveaux renseignements qui nous ont été envoyés par l'ingénieur en chef de la compagnie des chemins de fer autrichiens que la pratique n'a pas confirmé ce fait. Aussi supprime-t-on dans les nouvelles machines l'engrenage, mais on conserve la cheville ouvrière et l'on continue à placer une partie du réservoir du tender sur la machine, de manière à répartir convenablement le poids total sur ces roues.

On a aussi essayé, au passage du Sommering, des machines avec tender séparé dans lesquelles on avait établi la relation entre les roues de la machine et celles du tender au moyen de chaînes sans fin passant sur des disques à gorges fixés à l'essieu du tender et à celui d'arrière de la machine; mais ces chaînes se rompaient fréquemment.

Le poids de la machine Engerth est de 56 tonnes; mais il ne fatigue pas trop la voie, parce qu'il est distribué à peu près également sur les dix roues. La surface de chauffe, et, par suite, la puissance de ces machines, sont énormes. La charge qu'elles traînent est le double de celle que traînent les machines ordinaires à marchandises.

Les cylindres de ces machines sont extérieurs, le châssis est intérieur, le mécanisme est partie intérieur et partie extérieur.

Type Engerth modifié sur les chemins français. — Aux chemins de l'Est on emploie des machines très-puissantes du système Engerth, pour le service des marchandises. Elles diffèrent des machines du Sommering par la suppression de l'engrenage, par l'augmentation du nombre de roues, et enfin par les dimensions.

Dans ces machines, représentées plus loin, le nombre des roues est de douze. Toutes les roues ne sont pas de même diamètre, comme dans les machines du Sommering. Les deux paires de roues d'arrière sont de plus petit diamètre que les quatre paires d'avant. Ces dernières sont couplées et elles ont $1^{m},26$ de diamètre, tandis que, dans les machines du Sommering, elles n'ont que $1^{m},16$. Ces modifications apportées dans les machines françaises au modèle du Sommering sont motivées par la nature du service sur les lignes françaises, service qui exige une plus grande vitesse sur un profil moins accidenté.

On reproche au système Engerth appliqué aux machines à marchandises :

1° De créer une puissance qui cesse d'être en rapport avec l'adhérence si on renonce à l'engrenage;

2° D'exiger un entretien coûteux;

3° De ne pouvoir se plier aux exigences du service ordinaire des marchandises, qui oblige à charger et décharger les waggons dans les différentes stations intermédiaires;

4° La difficulté avec laquelle on désassemble le tender de la machine.

La machine Engerth, incontestablement, est peu susceptible d'application au service ordinaire des marchandises. « Son grand foyer, disent les auteurs du *Guide du mécanicien*, exige que la machine soit en marche pour dépenser la vapeur qui se produit, ou qu'elle soit au repos et bien capuchonnée, le feu couvert, le cendrier fermé, etc. Elle consomme beaucoup trop pendant les manœuvres de gare, et en outre les chocs et contre-chocs qu'elle supporte dans ces manœuvres ébranlent son mécanisme, à proximité duquel se trouve le point d'attache du tender et de la machine. » Mais la machine Engerth peut rendre et rend effectivement de grands services sur les chemins du Nord et de l'Est, en fournissant le moyen de traîner économiquement à de grandes distances des trains marchant à charge complète, tels que ceux de houille, etc.

Nous verrons plus loin, lorsque nous décrirons plus spécialement le modèle de la machine Engerth à marchandises employée aux chemins de fer de l'Est, comment ces machines se sont comportées sur ces chemins.

Quant à l'inconvénient que présente l'assemblage de la machine et du tender, il a été considérablement atténué dans les machines fabriquées au Creusot pour les chemins de l'Est et du Nord.

Plusieurs constructeurs, en tête desquels nous placerons M. Polonceau, rejettent complétement le modèle Engerth et espèrent parvenir à construire des modèles tout aussi puissants, plus simples de construction et beaucoup moins coûteux d'entretien.

Machines à marchandises des chemins anglais. — Les ma-

chines à marchandises des chemins anglais sont généralement à six roues couplées. Les trois essieux sont souvent placés entre les deux boîtes, comme dans le modèle fig. 483 (modèle de l'Est); quelquefois un des essieux est à l'arrière de la boîte à feu, comme dans l'ancienne machine du Nord (fig. 484).

Un seul constructeur, Allan, a établi des machines à marchandises à quatre roues couplées, comme le faisait anciennement M. Polonceau.

Les cylindres et le châssis, dans les machines à marchandises anglaises, sont généralement intérieurs.

Il ne paraît pas que sur aucun chemin anglais on fasse usage du système Engerth.

Machines à marchandises des chemins allemands. — Les machines à marchandises des chemins prussiens sont à six roues couplées dans le système Stephenson.

En Autriche, on emploie pour le service de la petite vitesse les machines américaines à huit roues, les machines Engerth et des machines à huit roues sur le modèle de celles du chemin de Vienne à Raab, qui a été envoyée à la grande exposition parisienne.

Dans cette machine, sortie des ateliers de M. John Haswell, de Vienne, le corps cylindrique repose sur quatre paires de roues couplées; le châssis est intérieur et le mécanisme extérieur.

Pendant longtemps des ingénieurs, même fort distingués, hésitaient à porter au delà de quatre le nombre des roues couplées, parce que, disaient-ils, avec trois ou quatre paires de roues couplées les glissements provenant de l'inégalité de diamètre devaient être bien plus sensibles qu'avec deux, et avoir pour conséquence non-seulement une augmentation de résistance, mais encore un accroissement dans l'usure des rails et des bandages. C'est M. Haswell qui a le premier, si nous ne nous trompons, *osé* coupler quatre paires de roues. Il est vrai qu'il a en même temps diminué les mauvais effets de l'usure des bandages en se servant de bandages en acier fondu au lieu de bandages en fer. Depuis lors on a, dans plusieurs nouveaux modèles, les Engerth à marchandises français, par exemple, et les machines à fortes rampes du Nord, suivi l'exemple de M. Haswell.

Machines-tenders.

On désigne sous ce nom toutes les machines dans lesquelles le réservoir d'eau et le magasin à coke, au lieu d'être portés sur un waggon spécial dit tender, comme dans les autres, font partie intégrante de la machine. Ces machines peuvent difficilement porter un approvisionnement considérable d'eau et de combustible.

Machine-tender du chemin d'Orléans. — La machine-tender du chemin d'Orléans, représentée et décrite plus loin, a été imitée par le chemin de l'Est. Cette machine est un excellent modèle pour le service des gares. Elle ne marche qu'à une petite vitesse, mais elle fonctionne dans toutes les courbes en démarrant rapidement.

Le mécanisme et les cylindres sont à l'intérieur. L'eau est renfermée dans une bâche sous le corps cylindrique et le coke dans deux caisses latérales contre la boîte à feu.

Machine-tender du Midi. — On a construit pour le chemin du Midi des machines-tenders de grandes dimensions, représentées

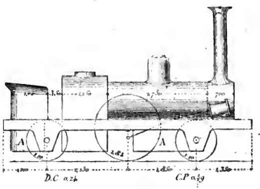


Fig. 487. — Machine du Midi.

figure 487. Ces machines étaient trop lourdes et beaucoup trop chargées à l'arrière.

La fig. 488 représente le modèle de la machine-tender employée pour le service des trains sur le chemin de fer de Saint-Germain.

Machine-tender d'Auteuil. — La Compagnie de l'Ouest emploie

sur le chemin d'Auteuil une machine-tender d'un modèle particulier. Ce chemin offrant un grand nombre de rampes de 1 centimètre et de courbes à 250 mètres de rayon, les machines destinées à le desservir devaient, tout en étant très-puissantes, pouvoir tourner facilement. Les départs étant fréquents, les stations nombreuses et peu éloignées les unes des autres, elles devaient aussi

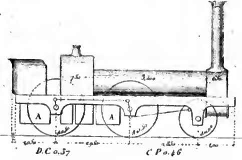


Fig. 488. — Machine du chemin de Saint-Germain.

être disposées de manière qu'on pût les arrêter dans un espace très-court. Ces différentes conditions ont été parfaitement remplies par M. l'ingénieur Rhoné, qui en a rédigé le projet.

Des six roues qui portent la machine et un tender, quatre sont placées sous la chaudière. Ces quatre roues seulement sont couplées, les essieux extrêmes sont peu écartés. La machine porte un frein à vapeur qui agit en même temps sur les deux roues d'arrière de la machine proprement dite et sur les deux roues du tender. Ce frein, qui sera décrit plus loin, sert à arrêter la machine dans un plus court espace que celui dans lequel on arrête les machines ordinaires.

Nouvelle machine-tender du Nord. — Il faut enfin classer parmi les machines-tenders la nouvelle machine à marchandises du Nord, machine destinée à remonter de fortes pentes à de très-petites vitesses.

Le but que l'on s'est proposé en étudiant la nouvelle machine à marchandises du chemin de fer du Nord a été de construire une machine capable de remorquer à de très-petites vitesses des charges

suffisantes sur les fortes pentes de certains embranchements du réseau du Nord et sur le chemin de ceinture.

Le poids mort de la machine devait être le plus faible possible; c'est pourquoi on a donné la préférence à la machine-tender : cette machine, dont l'approvisionnement est insuffisant pour de longs parcours, ne présente pas le même inconvénient si le parcours est réduit et si la vitesse est très-faible.

Pour obtenir une puissance suffisante, il fallait une surface de chauffe assez grande. On a obtenu une surface de 125 mètres carrés en élevant la chaudière au-dessus du bâti, de manière à dégager complètement la boîte à feu des longerons, ce qui a permis de lui donner une grande largeur et de placer une paire de roues en dessous.

La pression sur chaque paire de roues ne devant pas dépasser 11 tonnes, on a placé la chaudière sur quatre essieux, et, comme la machine devait passer dans des courbes de petit rayon, on a rapproché ces essieux autant que possible, ce qui n'a pu avoir lieu qu'en plaçant un des essieux au-dessous de la boîte à feu et en donnant aux roues $1^{m},06$ seulement de diamètre. La petitesse de ce diamètre convenait du reste pour les petites vitesses auxquelles la machine devait marcher.

La caisse à eau a été logée en dessous de la chaudière, dans l'espace qui la sépare du bâti.

Les soutes à coke enfin sont disposées comme celles des machines de gare.

Machines-tenders des chemins anglais. — Les machines-tenders sont fort répandues en Angleterre, comme en France ; elles y sont également affectées au service des gares et des lignes de petit parcours.

Un des meilleurs modèles est celui de Sharp frères, qui fait un excellent service sur plusieurs lignes, et notamment sur le chemin de Manchester à Birmingham.

Ces machines sont à six roues ; une paire de grandes roues est placée en avant de la boîte à feu ; les roues extrêmes, de plus petit diamètre, sont, comme dans les machines à voyageurs ordinaires, en arrière de la boîte à feu et de la boîte à fumée. Le réservoir se

trouve en partie sous le corps cylindrique et en partie sous la plaque en arrière du foyer. La prise de vapeur a lieu sous un dôme près de la cheminée. Les cylindres sont extérieurs, le châssis est intérieur. Les boîtes à vapeur et les excentriques sont intérieurs. Le frein est placé entre les roues d'arrière et les roues du milieu.

Stephenson a fait des machines-tenders à quatre roues. Les roues motrices sont en avant de la boîte à feu, les autres roues en arrière de la boîte à fumée. Les cylindres sont extérieurs, le châssis intérieur. Le réservoir est placé sous le corps cylindrique.

Sur le *Eastern counties railway*, on trouve des machines-tenders de John Gooch avec réservoir sous le corps cylindrique, roues motrices indépendantes en avant de la boîte à feu et de la boîte à fumée; cylindres extérieurs et double châssis.

Les machines-tenders de Sinclair, sur le *Caledonian railway*, sont à peu près semblables à celles de John Gooch.

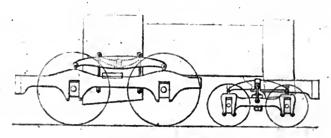


Fig. 489. — Machine de Daniel Gooch.

Daniel Gooch, sur le *Great western*, emploie une machine-tender (fig. 489) différant essentiellement de celles décrites précédemment. Cette machine est à huit roues : quatre grandes roues couplées sont placées à l'arrière, et quatre petites placées à l'avant. Les essieux qui portent ces dernières peuvent se tourner dans le plan horizontal indépendamment des essieux de derrière, exactement comme dans les machines américaines.

Les cylindres sont intérieurs, ainsi que le châssis. Le mécanisme est également intérieur. Le réservoir est placé sur le corps cylindrique de la chaudière, qu'il enveloppe en partie.

DISPOSITIONS DE DÉTAIL DES MACHINES LOCOMOTIVES.

Nous venons de décrire les principaux organes dont se composent les machines locomotives, ainsi que les fonctions de chacun de ces organes; puis nous avons indiqué les caractères les plus saillants des nombreux types qui sont adoptés sur les chemins de fer.

Il nous reste maintenant à faire connaître les dispositions de détail de ces machines. Nous conserverons dans cette partie de notre travail l'ordre que nous avons suivi jusqu'ici : nous nous occuperons d'abord de l'appareil de vaporisation et de ses accessoires, puis du mécanisme moteur et de la distribution de vapeur, et nous terminerons par la description du train qui supporte l'ensemble de la machine.

Dans un article spécial, nous décrirons les tenders, qui forment une annexe indispensable de la machine locomotive.

Appareil de vaporisation. — Nous avons dit précédemment que l'appareil dans lequel se forme la vapeur se compose essentiellement de la boîte à feu, comprenant le foyer, son enveloppe et la grille, du corps cylindrique qui contient les tubes, et de la boîte à fumée surmontée de la cheminée. A ces appareils nous ajouterons les accessoires suivants, dont le but est de prévenir les dangers inhérents à l'emploi de la vapeur, d'augmenter et de régler la puissance vaporisatrice de la machine, et enfin de conduire cette vapeur aux cylindres.

Ces appareils sont :

Le cendrier et la grille de la boîte à fumée;

Les soupapes de sûreté, le manomètre, le niveau d'eau, les robinets d'épreuve, le sifflet;

Les robinets et tampons de vidange, le trou d'homme,

Le tuyau d'échappement, le registre de la boîte à fumée, les portes du cendrier et de la cheminée;

L'appareil de prise de vapeur.

Foyer. — Nous avons vu que les foyers des machines locomotives affectent la forme rectangulaire et qu'ils sont recouverts d'un dôme pyramidal ou semi-cylindrique, ou la forme circulaire avec

dôme sphérique, et nous avons déjà indiqué les avantages ou les inconvénients respectifs de ces deux formes de foyer. *En Europe la préférence est généralement donnée aux foyers rectangulaires, qui permettent d'obtenir les plus grandes surfaces de chauffe par rayonnement.*

Les matériaux qui sont employés pour la construction des foyers sont le fer et le cuivre rouge.

Le fer présente de nombreux inconvénients : il se détériore rapidement par l'action de la chaleur intense qu'il reçoit du combustible; et si, comme cela arrive fréquemment, il présente quelque défaut ou seulement une texture lamellaire, il se fissure et donne lieu à des fuites. *Quoique moins coûteux de premier établissement que ceux en cuivre, les foyers en fer sont aujourd'hui généralement abandonnés, à cause des réparations continuelles auxquelles ils donnent lieu.*

Toutes les parois planes du foyer doivent être solidement armées, afin qu'elles puissent résister à la pression de la vapeur qui tend à les déformer. A cet effet, les faces verticales des foyers rectangulaires sont réunies aux faces parallèles de l'enveloppe par le moyen d'*entretoises* en cuivre ou en fer. Ces entretoises (fig. 490) sont de petits cylindres de 2 centimètres de diamètre, filetés dans toute leur longueur et par conséquent assemblés à vis dans les parois du foyer et de son enveloppe. Elles sont en outre rivées à leurs deux extrémités, afin de présenter des joints parfaitement étanches.

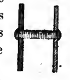


Fig. 490.

Quelquefois on rive les entretoises à l'extérieur et on place des écrous en cuivre à l'intérieur.

L'écartement d'une entretoise à l'autre est généralement de 10 à 11 centimètres.

Une partie des constructeurs font leurs entretoises en fer, d'autres les font en cuivre. Il arrive souvent qu'il s'en casse un certain nombre sans qu'on s'explique bien clairement la cause de leur rupture. Pour éviter cet inconvénient, on a rapproché dans des machines récemment construites les entretoises à 9 centimètres, et on augmente leur diamètre de 20 à 21 et même 23 millimètres.

Les auteurs du *Guide* donnent la préférence aux entretoises en

cuivre. Les entretoises en fer, disent-ils, peuvent se détruire avec une grande rapidité sans qu'il soit possible de s'en assurer autrement qu'en démontant le foyer.

Le ciel du foyer ne peut être armé de la même manière que les parois latérales, parce qu'il n'est parallèle à aucune partie de l'enveloppe. On le consolide au moyen d'armatures en fer forgé ou en tôle qui empêchent qu'il ne soit déformé et reportent la pression de la vapeur sur les faces verticales du foyer. Ces armatures affectent la forme parabolique : elles sont espacées généralement de 10 centimètres d'axe en axe et réunies au ciel lui-même par des boulons en fer ou en cuivre rouge qui sont filetés dans la plaque de ciel et s'appuient par le moyen d'un écrou sur les armatures.

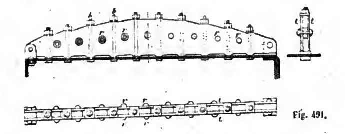


Fig. 491.

La figure 491 représente une armature de machine Crampton composée de deux feuilles de tôle *tt* reliées par des rivets *rr*.

Les parois du foyer se composent généralement de trois feuilles de cuivre. Deux de ces feuilles composent les parois antérieure et postérieure; elles sont pliées en cornières sur leur pourtour et sont réunies ainsi au moyen de rivets à la troisième, qui forme à la fois les deux parois latérales et le ciel. L'épaisseur de ces plaques est en général de 12 millimètres, sauf la plaque antérieure ou *tubulaire*, représentée en élévation et en coupe dans la figure 492, qui atteint, à l'endroit où la traversent les tubes, une épaisseur de 25 millimètres.

Le foyer est assemblé dans sa partie inférieure avec son enveloppe au moyen d'une cornière en bronze coulée d'une seule pièce (fig. 493) ou d'un cadre en fer (fig. 494). Cette dernière disposition paraît maintenant préférée. Un cadre analogue est inter-

posé entre les parois postérieures du foyer et de son enveloppe pour fermer la porte par laquelle on introduit le combustible.

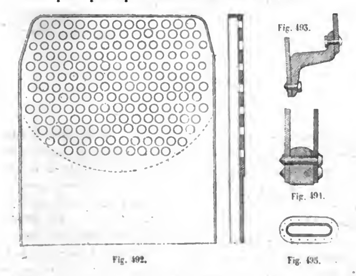


Fig. 492. Fig. 493. Fig. 494. Fig. 495.

Afin d'augmenter la surface de chauffe des machines locomotives sans modifier leurs dimensions extérieures, on place quelquefois dans le foyer un *bouilleur*, sorte de tube dont la section est représentée dans les figures 495 et 496. Ce bouilleur est fixé tantôt en long, reliant la plaque tubulaire à la plaque de la porte, tantôt en travers, reliant les deux côtés du foyer. Dans les deux cas, son arête supérieure A est placée un peu plus bas que la rangée inférieure des tubes.

Fig. 496.

Le bouilleur dans le foyer est très-usité en Angleterre, où le coke, d'une excellente qualité, brûle facilement sur des grilles de

petite surface. En France, où l'on se sert de charbons d'une qualité inférieure, on a cessé d'en faire usage.

Grilles. — Les grilles des machines locomotives où l'on brûle du coke sont composées de barreaux en fer (fig. 497), indépen-

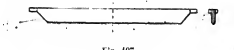


Fig. 497.

dants, disposés dans le sens de la longueur de la machine et rapprochés autant que le permet le combustible que l'on emploie. Ils reposent sur un cadre en fer à demeure au bas du foyer ou mobile autour d'un axe placé près de la plaque tubulaire; dans ce cas, un appareil spécial que le mécanicien peut manœuvrer depuis sa plate-forme lui permet de renverser la grille et de jeter le feu quand, par une cause quelconque, le niveau de l'eau a baissé dans la chaudière de manière à la compromettre. Quand la longueur de la grille dépasse 1^{m},20, on la compose ordinairement de deux rangées de barreaux supportés par une traverse placée sous le milieu du foyer. Il est alors prudent de rendre mobile la moitié postérieure de la grille. On a aussi employé des grilles en fonte coulées d'un seul morceau; mais elles ont été abandonnées, parce qu'il est bon de pouvoir les remplacer par parties quand elles sont détériorées par le mâchefer qui se forme pendant la combustion du coke.

Les barreaux en fer forgé sont plus durables que ceux en fer laminé. On donne toutefois la préférence aux derniers, parce qu'ils sont moins coûteux.

Lorsqu'au lieu d'employer le coke comme combustible on se sert de la houille en nature, on remplace la grille horizontale que nous venons de décrire par la grille de M. Polonceau, qui n'est autre chose qu'une grille inclinée de l'arrière à l'avant sur une partie horizontale de peu de largeur dans le bas, ou par la grille à gradins de MM. Marsilly et Chobrzynsky.

Grille Marsilly et Chobrzynsky. — Nous empruntons la description suivante de la grille à gradins (fig. 498 et 499) à un excel-

lent Mémoire, publié dans les *Comptes rendus de la Société des ingénieurs civils*, par M. Chobrzynsky :

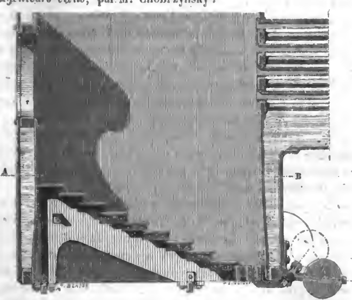


Fig. 498. — Coupe d'un foyer à grille Chobrzynsky.

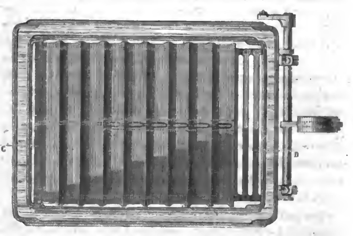


Fig. 499. — Plan d'un foyer à grille Chobrzynsky.

« La répartition et l'arrangement du combustible en couches

d'épaisseur uniforme sur toute la surface des grilles ordinaires donnent lieu à un grand développement de fumée, et, par suite, à une perte de matières volatiles, qui sont entraînées et échappent à la combustion. C'est surtout au moment du chargement que cet effet se produit avec le plus d'intensité, et l'on peut dire qu'il y a une proportionnalité directe entre l'incommodité due à la fumée qui s'échappe des foyers industriels et la consommation en pure perte d'une partie toujours très-considérable des éléments calorifiques contenus dans le combustible employé.

« En effet, au moment du chargement, il faudrait pouvoir introduire dans le foyer le maximum d'air nécessaire à la combustion des produits volatils mis en liberté par la distillation du combustible, et c'est précisément le contraire qui a lieu.

« Le combustible frais répandu sur la surface de la grille se gonfle d'abord en remplissant les interstices libres qui donnaient accès à l'air nouveau. La quantité d'oxygène admis dans le foyer est dès lors insuffisante à produire une combustion complète, et cette insuffisance est d'autant plus grande que le combustible employé est plus riche en hydrogène. Cette combustion incomplète, cette distillation, se traduit par un développement de carbure d'hydrogène gazeux, qui entraîne à l'état de suspension le carbone, très-divisé, en produisant une fumée d'autant plus épaisse que le combustible est lui-même plus riche en carbone et en hydrogène.

« Au contraire, quand la combustion est bien établie et lorsque le foyer exige une nouvelle charge, les orifices libres sont relativement considérables, et l'air neuf est appelé en quantité trop grande; une très-notable partie de cet air échappe à la combustion, s'échauffe aux dépens du calorique développé, et le foyer se refroidit en même temps que le combustible est absorbé sans effet utile. Sans doute, les soins du chauffeur peuvent amoindrir ces inconvénients; mais, quelque incessants qu'on les suppose, ils ne sauraient pas les faire disparaître complétement.

« Les grilles tournantes, celles qui reçoivent un mouvement de va-et-vient, les grilles formées par des chaînes sans fin et s'alimentant d'une manière continue par des trémies remplies constamment de charbon, sont dispendieuses; elles exigent d'ailleurs l'emploi

d une force motrice qui les met en mouvement. Les deux dernières présentent en outre des difficultés spéciales pour conserver une distribution convenable, qui dépend de la ténuité et de l'état hygrométrique du combustible. Si la charge est trop grande, une partie du charbon tombe à l'extrémité de la grille opposée à la trémie et se perd dans le cendrier; si elle est au contraire insuffisante, l'air entre en excès dans le fourneau et le refroidit.

« La grille fumivore à gradins est représentée figures 498 et 499. Les barreaux plats et larges de cette grille sont disposés à la manière des marches d'un escalier et se recouvrent les uns les autres. A la suite de cette grille sont quelques barreaux disposés à la façon ordinaire; le nombre et l'écartement de ces barreaux dépendent de la nature et de la pureté du combustible employé.

« Le combustible frais, placé contre la porte et sur les barreaux supérieurs de la grille à gradins, se distille; sa fumée et la matière volatile, en arrivant vers l'autel ou vers les tubes des chaudières tubulaires, y rencontrent l'air, non brûlé, et préalablement chauffé par son passage à travers la houille carbonifiée, qui a gagné déjà la partie inférieure de la grille. Le mélange de cet air avec les matières carburées volatiles, avec les gaz non brûlés encore, se produit dans les conditions voulues de température, et la combustion de ces divers produits gazeux s'opère de manière à arriver à leur transformation en acide carbonique d'une manière à peu près complète.

« Avec des charbons très-bitumineux, donnant beaucoup de fumée, la grille à gradins seule n'est pas complétement fumivore. Il s'en dégage encore de la fumée au moment où l'on charge le combustible nouveau. Pour obtenir un résultat complet il faut aider à l'absorption de cette fumée par une introduction directe et spéciale d'air chaud.

« Dans certains cas, la construction au-dessus de la partie inférieure de la grille de rampants ou voûtes permet de mieux diriger les produits volatils vers l'autel garni de briques creuses avec des sorties d'air chaud.

« Toutes les fois qu'on voudra arriver à des résultats complets il sera nécessaire d'employer des charbons fins ou tout-venants, qui

produisent, à pureté égale, la même quantité de chaleur que les gaillettes; ces dernières, se distillant plus difficilement que les fins, arrivent dans la partie inférieure de la grille sans avoir perdu toutes les matières volatiles, qui, n'ayant plus dès lors qu'un léger parcours à faire pour arriver au-dessus de l'autel, circulent autour des générateurs sans avoir pu être brûlées par l'oxygène nécessaire à leur combustion complète.

« La grille à gradins permet l'emploi des houilles très-maigres et sèches, qui ont été jusqu'à présent dépréciées et même rejetées pour les usages des chaudières. Elle offre donc à l'industrie une ressource immense, au moment surtout où le combustible minéral semble manquer et devient chaque jour plus cher. »

Les essais faits avec des houilles de bonne qualité, sur le chemin du Nord, de la grille Chobrzynsky, ont donné d'excellents résultats. On a trouvé sur ce chemin que non-seulement il y avait dans l'emploi de la houille économie d'argent, mais encore amélioration de condition de production de vapeur; *sur le chemin de Strasbourg, avec des houilles contenant une grande quantité de cendres et de matières volatiles, la grille Chobrzynsky n'a pas été fumivore et les barreaux fondaient en peu de temps.*

On a aussi observé sur le chemin du Nord que les barreaux de cette grille devaient être renouvelés plus souvent que ceux des grilles ordinaires; mais ils ne fondaient pas aussi rapidement que sur le chemin de Strasbourg.

Les machines n'ont pas paru souffrir, comme on supposait que cela serait; de l'emploi prolongé de la houille de bonne qualité.

D'après M. Sauvage, ingénieur en chef de la traction aux chemins de l'Est, il paraîtrait résulter de l'ensemble du service que les tubes se conserveraient mieux quand on emploie de la houille que lorsqu'on se sert de coke.

Les tubes des machines alimentées au coke trouvent une cause d'usure dans le frottement des petites parcelles de coke entraînées par le tirage forcé des tuyaux d'échappement, tandis que les machines marchant à la houille conservent leurs tubes et ne subissent pas ces frottements, que ne peut produire le faible tirage qui suffit à la combustion.

Nous décrirons plus loin, au chapitre des appareils nouveaux, l'appareil Dumery, qui n'est encore, du moins en ce qui concerne les locomotives, qu'à l'état d'essai.

Cendrier. — Les petits fragments de combustible qui passent à travers la grille (*escarbilles*) sont souvent entraînés par le courant d'air que produit le mouvement de la machine et des roues. Si alors ils rencontrent les roues, ils sont lancés à une grande distance par les rais de ces roues et peuvent occasionner des incendies. Pour parer à cet inconvénient, on dispose généralement sous la grille de la machine un cendrier, sorte de caisse en tôle rectangulaire ouverte sur le devant. Cet appareil remplit son but d'une manière assez convenable, mais il nuit au tirage et rend difficile l'extinction du feu en marche. Quelquefois on supprime la plus grande partie du fond du cendrier. Sur le chemin de l'État, en Bavière, on le compose, d'après M. Lechatelier, de quatre feuilles de tôle mobiles chacune autour d'un axe et reliées entre elles comme les lames de persiennes mobiles. Une tringle aboutissant sur la plate-forme de la machine, et dont la poignée est à la portée du mécanicien, sert à ramener les quatre feuilles dans une position verticale quand on veut jeter le feu ou vider le cendrier. Lorsqu'on brûle du bois, l'orifice antérieur du cendrier est fermé par un treillis mécanique qui empêche la projection des étincelles.

Une commission nommée par Son Excellence M. le ministre des travaux publics a été chargée d'examiner quelle était la meilleure forme à donner aux cendriers des locomotives.

Nous extrayons les lignes suivantes du rapport fait par M. Couche au nom de cette commission.

La plupart des cendriers consistent en une caisse en tôle ouverte à l'avant et fermée quelquefois à l'arrière par une plaque en tôle mobile autour de son arête supérieure.

On fait à ces cendriers plusieurs objections que nous reproduisons :

1° Pour les machines à foyer très-bas il n'y a pas de place entre les barreaux de la grille et le sol pour loger un cendrier de hauteur convenable.

2° La grille est difficile à décrasser.



3° Les barreaux se détruisent rapidement.

4° Le cendrier à fond complet rend à peu près illusoire l'emploi du jette-feu.

5° Il faut démonter le cendrier pour pénétrer dans le foyer.

6° Ce cendrier nuit au tirage dans la marche en arrière.

La commission répond à la première objection que les machines doivent être construites de manière à permettre l'emploi du cendrier, dont on ne saurait se passer si on veut éviter autant que possible les incendies. Elle ajoute que les machines récemment établies remplissent cette condition.

L'objection n° 2 n'est nullement fondée pour les machines de dimensions moyennes; elle n'a de gravité que pour les Crampton et les grosses Engerth, dont les foyers sont très-longs.

L'objection n° 3 est au contraire très-fondée, ainsi que celle n° 4.

L'objection n° 5 est d'une importance très-secondaire.

On répond enfin à l'objection n° 6 en pratiquant dans la paroi d'arrière du cendrier une ouverture munie d'une porte.

Malgré ses inconvénients, le cendrier à fond et parois complets est en usage en Angleterre.

Cela tient à ce que dans ce pays, où le coke est généralement très-pur, les décrassages sont rares et l'on ne fait pas usage de l'échappement variable. On varie alors l'introduction de l'air en variant l'ouverture de la porte.

On a employé au Midi un cendrier avec parois verticales à claire-voie. Le tirage était alors parfait, quel que fût le temps de la marche, mais les particules de coke amoncelées sur le fond s'échappaient latéralement.

A l'Est on a échancré le fond; les particules tombaient encore sur le sol.

Au Midi on a encore employé des cendriers à fond plein, avec bords plus élevés; le cendrier était suspendu au-dessous de la grille de manière à laisser plusieurs centimètres d'intervalle entre l'arête supérieure de ses parois et le bord inférieur de la boîte à feu.

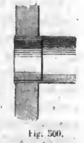
Ce cendrier se remplit de cendres et de débris qui étranglent trop le passage de l'air, et, une fois plein, il laisse les fragments embrasés s'échapper librement sur tout son pourtour.

La commission propose de supprimer le fond et de faire porter au cadre du foyer des appendices descendant plus bas que la surface de roulement des rails et rasant le ballast. Les morceaux de coke seraient chassés en avant par les impulsions successives de la paroi postérieure et isolés du train jusqu'à ce qu'ils cessent de rebondir sur la voie. Ils cesseraient alors d'être dangereux.

Cette espèce de cendrier a été adaptée avec avantage à des machines Crampton sur le chemin de Lyon. Quelques mécaniciens cependant regrettaient la suppression du fond, qui, d'après eux, augmentait le tirage pour la marche en avant.

Tubes. — Dans l'origine, les tubes étaient en cuivre rouge. Ils se détruisaient rapidement par le frottement des particules de coke entraînées par le tirage; *aussi a-t-on substitué le laiton au cuivre rouge.* Les tubes en laiton furent employés pour la première fois en 1833, à l'instigation de M. Dixon, ingénieur résidant au chemin de Liverpool à Manchester. Ils sont faits en laiton laminé de première qualité. On découpe des bandes de largeur convenable et de toute la longueur que doivent avoir les tubes; on chanfreine ces bandes sur leurs longs côtés, de manière à pouvoir les superposer de 1 centimètre sans qu'il en résulte de surépaisseur dans les tubes. On les enroule sur un mandrin et on réunit les bords par une soudure; on les fait passer à travers une filière en acier afin que leur surface extérieure soit parfaitement cylindrique.

L'assemblage des tubes avec les plaques tubulaires (fig. 500) se fait de la manière suivante. Après avoir mis le tube en place, on le fait appliquer exactement contre les parois des trous pratiqués dans les plaques tubulaires en enfonçant à chaque extrémité un mandrin en acier légèrement conique. Puis l'on chasse à coups de masse une *bague* ou *virole* en acier dans chaque bout du tube ainsi préparé, et l'on matte ces bouts, afin de compléter les joints.


Fig. 500.

La plaque tubulaire est renflée à l'endroit où elle reçoit les tubes.

Quelquefois on emploie des bagues en fer du côté de la boite à fumée ou même on supprime complétement les bagues. La plupart

des constructeurs se contentent aujourd'hui de mandriner fortement le tube à cette extrémité, pour l'appliquer exactement sur la tranche de la plaque tubulaire. Les bords qui font une légère saillie sont rabotés et mandrinés. Cette disposition permet aux fragments de coke entraînés dans les tubes de s'échapper plus facilement et rend le nettoyage plus commode.

Dans les machines où l'on brûle du bois, on supprime souvent les viroles de la boîte à feu en soudant à l'extrémité du tube un bout en cuivre rouge, un peu plus épais que le reste, que l'on mandrine fortement et que l'on refoule à l'intérieur, en même temps qu'on le matte avec soin à l'extérieur.

On supporte quelquefois les tubes trop longs à l'aide d'une feuille de tôle percée de trous attachée au corps cylindrique; mais ce support n'est pas absolument nécessaire. Au Nord on l'a supprimé.

Les tubes en laiton sont aujourd'hui de trois espèces : 1° les tubes soudés sur leur longueur (usine de Romilly); les tubes étirés (Laveissière), et enfin les tubes martelés et sans soudure (Estivan à Givet). On emploie les trois systèmes aux chemins de l'Est, sans donner la préférence à aucun.

Quelques constructeurs ont voulu remplacer les tubes en laiton par des tubes en fer creux étiré. Ces tubes s'altèrent par places et donnent lieu à des réparations coûteuses.

On a fabriqué aussi dans ces derniers temps des tubes étirés d'épaisseur décroissante, de telle façon que les parois de la partie du tube dans le voisinage de la boîte à feu sont plus faibles que dans le voisinage de la boîte à fumée.

Les tubes s'usent en effet au bout d'un certain temps, soit par le frottement du combustible, soit par l'action de la chaleur, et l'usure affecte surtout les tubes du milieu et ceux des rangées inférieures à l'extrémité contiguë au foyer. Ces tubes d'épaisseur variable sont encore peu répandus et l'expérience n'a pas encore prononcé sur leur mérite; la fabrication n'en est pas d'ailleurs sans difficulté.

La composition chimique des tubes est un point important. Nous indiquerons plus loin, en traitant du cahier des charges pour les locomotives, quelle doit être cette composition.

Quand un tube fuit, on fend les viroles avec un ciseau et on les replie en dedans pour pouvoir les enlever, puis on sort le tube et on le visite pour voir si l'usure est locale ou générale. Si l'extrémité seule est endommagée, on la coupe, on soude un bout et l'on replace le tube.

Chaudière proprement dite. — Nous avons déjà vu que l'enveloppe du foyer est sensiblement parallèle à ce foyer jusqu'à la hauteur du ciel, et qu'à partir de ce point elle est recouverte par un dôme semi-cylindrique ou pyramidal. La jonction des différentes feuilles qui composent cette enveloppe se faisait anciennement au moyen de cornières en tôle recourbées; maintenant on préfère emboutir les feuilles antérieure et postérieure de la boîte à feu extérieure, comme on le fait pour le foyer. Cette disposition a l'avantage de diminuer le nombre des joints.

Par la même raison, l'on supprime actuellement la cornière en tôle qui assemblait la paroi antérieure de la boîte à feu avec le corps cylindrique de la chaudière, et l'on emboutit cette feuille, qui présente alors la forme indiquée figure 501. La jonction du corps cylindrique avec la plaque tubulaire de la boîte à fumée se fait au moyen d'une cornière.

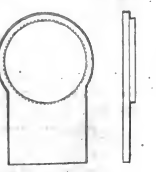


Fig. 501.

Le corps cylindrique est généralement de section circulaire; cependant on l'a quelquefois ovalisé en donnant au diamètre vertical 0^{m},05 à 0^{m},06 de plus qu'au diamètre horizontal, afin de pouvoir augmenter le nombre des tubes tout en conservant une assez grande distance entre la surface de l'eau et la partie supérieure de la chaudière. Mais cette forme est vicieuse : elle n'offre pas une résistance aussi grande à la pression que la forme cylindrique.

Réservoir de vapeur. — Nous avons vu qu'on augmente l'espace réservé à la vapeur au moyen du dôme pyramidal recouvrant la boîte à feu, ou au moyen d'un réservoir spécial en forme

de cylindre placé tantôt au-dessus du foyer, tantôt en un point quelconque du corps de la chaudière.

Ce dôme ou réservoir spécial n'a pas seulement pour objet d'augmenter les dimensions du réservoir de vapeur, dont la capacité doit être dans un certain rapport avec la quantité de vapeur dépensée par chaque coup de piston : il a pour but principal de relever à une certaine hauteur au-dessus de la surface de l'eau l'origine du tuyau de prise de vapeur.

C'est au-dessus du foyer que l'ébullition est la plus tumultueuse, de sorte qu'en ce point l'eau est projetée en plus grande quantité que partout ailleurs; il paraît donc peu rationnel d'y placer l'orifice de la prise de vapeur. Mais, d'autre part, si l'on prend la vapeur près de la cheminée, toute celle qui se forme dans les autres parties de la chaudière en plus grande quantité qu'en ce point doit nécessairement lécher la surface de l'eau en ébullition avant d'y arriver. Le moyen le plus efficace de prévenir l'entraînement de l'eau consiste à augmenter le diamètre du corps cylindrique autant que le permettent les autres organes de la machine (tels que ressorts ou roues), et de laisser une hauteur aussi grande que possible entre la surface de l'eau et la partie supérieure de la chaudière. C'est celui qu'a employé Crampton, ainsi que nous l'avons indiqué.

Le dôme de la boîte à feu est alors formé par la continuation du corps cylindrique de la chaudière (fig. 502). La plaque tubulaire de la boîte à fumée

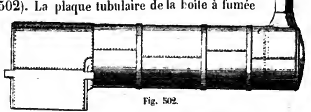


Fig. 502.

est un simple diaphragme en tôle emboutie, rivé dans l'intérieur du corps cylindrique et séparant ainsi la chaudière proprement dite de la boîte à fumée.

Cette disposition s'est aujourd'hui beaucoup répandue en France; mais il importe d'observer qu'elle n'est réellement avantageuse

qu'autant que la capacité du réservoir de vapeur est considérable. Si cette capacité était faible, l'usage du tube fendu dans le système Crampton deviendrait désavantageux.

Boîte à fumée. — Dans les premières machines à cylindres intérieurs, la boîte à fumée présentait, à fort peu de chose près, les mêmes dispositions que l'enveloppe de la boîte à feu; sa partie inférieure contenait les cylindres, auxquels elle servait de support. La plaque tubulaire en formait la paroi postérieure, et sa paroi antérieure était percée d'une ouverture fermée par une porte qu'on ouvrait pour nettoyer ou pour réparer les tubes. Actuellement on supprime la partie inférieure de cette boîte à la hauteur des cylindres, qui lui servent quelquefois de fond. Enfin, en décrivant la chaudière Crampton (p. 432), nous avons fait connaître une dernière disposition de boîte à fumée.

Cheminée. — La cheminée, fixée à la partie supérieure de la boîte à fumée, est cylindrique. On l'assemble avec cette dernière au moyen de boulons, afin de pouvoir la démonter facilement quand il faut visiter ou réparer la tuyère de l'échappement.

La cheminée s'évase souvent à la base sur une petite partie de sa hauteur. Cette disposition, dont l'utilité a été contestée, est cependant consacrée par l'expérience et tend à devenir générale : elle facilite l'écoulement des gaz et remédie en partie à l'étranglement qu'occasionne le tuyau d'échappement, qui, dans les machines françaises, s'engage de quelques centimètres dans la cheminée.

Armatures de la chaudière. — Il faut armer avec soin toutes les parties de la chaudière qui seraient sujettes à être déformées par la pression de la vapeur. Ainsi l'on réunit généralement la paroi postérieure de la boîte à feu à la plaque tubulaire de l'avant au moyen de forts tirants dans la partie située au-dessus des tubes. M. Polonceau et après lui plusieurs constructeurs ont employé dans leurs dernières machines de fortes cornières agissant comme les armatures du ciel du foyer, ce qui dégage le réservoir de vapeur de tous ces tirants fort incommodes et fort lourds. Cette disposition a prévalu dans toutes les nouvelles machines.

Chemise extérieure de la chaudière. — Quand une locomotive est en marche, l'air en contact avec les parois extérieures de la

chaudière est incessamment renouvelé; il en résulterait un refroidissement très-considérable de ces surfaces si elles n'étaient pas préservées. A cet effet, on les entoure d'une enveloppe en bois maintenue à une faible distance de la chaudière et contenue elle-même dans une seconde enveloppe en tôle mince, de fer ou de laiton, ou simplement cerclée de distance en distance. Autrefois on intercalait entre le bois et la chaudière des feuilles de feutre grossier; mais cette substance présente l'inconvénient de prendre très-facilement feu. Aujourd'hui on supprime même fréquemment le bois; l'air emprisonné entre l'enveloppe en tôle et la chaudière sert alors de couche isolante.

La boîte à feu peut être recouverte de la même manière que le corps cylindrique de la chaudière; mais on doit en couvrir en tôle seulement la partie qui est inférieure à la plate-forme du mécanisme et qui peut être atteinte par la flamme qui fuit quelquefois au-dessous de la grille. Il vaut mieux la laisser à découvert pour éviter l'oxydation rapide que produiraient dans un espace fermé les fuites qui ont lieu souvent dans cette partie de la chaudière.

Soupapes de sûreté. — Le but des soupapes de sûreté est d'empêcher la vapeur de pouvoir acquérir dans la chaudière une tension trop élevée. Les règlements administratifs exigent la présence de deux soupapes de sûreté sur chaque générateur à vapeur, une à chaque extrémité. Néanmoins, dans les machines locomotives de construction récente, on les place toutes les deux au-dessus du foyer, afin qu'elles soient plus à portée du mécanicien dans le cas où elles viendraient à se déranger.

Les soupapes le plus généralement employées se composent d'un disque circulaire A (fig. 503) muni d'une tige centrale B. Le rebord *aa* du disque n'a que 1 ou 2 millimètres de largeur; il repose sur un siége qui présente un rebord semblable, lequel correspond à *aa* (fig. 504). Ces deux surfaces sont exactement rodées l'une sur l'autre, afin de former un joint parfaitement étanche, c'est-à-dire imperméable à la vapeur. Le diamètre des soupapes est ordinairement de $0^{m},10$; leur surface est donc de 78 1/2 centimètres carrés. Or la pression de l'atmosphère est de $1^{k},033$ par centimètre carré; il faut donc, pour que la soupape commence à se lever quand la

tension de la vapeur est égale à six fois celle de l'atmosphère, que cette soupape reçoive une surcharge additionnelle de $5 \times 1^k,035 \times 78,5 = 405^k,58$. Il est rare que cette pression soit obtenue directement : presque toujours on se sert d'un levier LL (fig. 504) à l'extrémité libre duquel agit un ressort à boudin dont

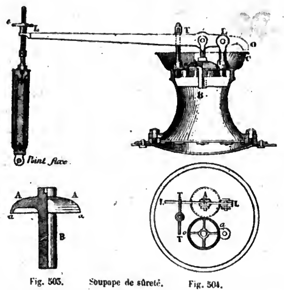


Fig. 503. Soupape de sûreté. Fig. 504.

on peut augmenter ou diminuer la tension en serrant ou desserrant l'écrou *e*. Dans les machines fixes, la pression est produite sur le levier au moyen d'un poids qui est suspendu à son extrémité. Cette disposition ne pourrait convenir aux machines locomotives, à cause des trépidations auxquelles elles sont exposées pendant leur marche. Le ressort est plus sujet à se déranger que le poids, et sa tension augmente d'une manière sensible quand la soupape se lève ; mais, comme les locomotives sont soumises à une surveillance incessante et que le mode de construction des chaudières de locomotives les rend presque inexplosibles, ces inconvénients n'ont que peu d'importance. Aujourd'hui on emploie beaucoup les soupapes ou balances de MM. Lemonnier et Vallée, qui présentent une disposition fort ingénieuse au moyen de laquelle, dès que la pression s'élève

d'une manière inquiétante, la soupape s'ouvre en grand et donne une large issue à la vapeur. Cet effet est obtenu au moyen d'un déclenchement fort ingénieux de la tige du ressort. Il arrive quelquefois que le ressort se brise ou que le point d'attache de l'appareil qui le contient vient à céder; alors la soupape est projetée au loin par la pression de la vapeur, et la machine se trouve hors de service. C'est pourquoi l'on dispose quelquefois une petite traverse TT qui limite la course du levier et empêche la soupape de quitter son siége. Il vaut mieux prolonger le levier, ainsi que l'indique la partie ponctuée de la figure 504, en sorte que sa course est limitée par l'espace compris entre le talon O du levier et le rebord de la cuvette C. Dans quelques anciennes machines, l'une des soupapes était placée à l'avant de la chaudière et entourée de façon à ne pas pouvoir être surchargée par le mécanicien; cette précaution a été reconnue inutile.

Bouchon fusible du foyer. — Si, par la négligence du mécanicien ou par suite d'une avarie des pompes alimentaires, le niveau de l'eau vient à baisser dans la chaudière de manière à laisser à découvert le ciel du foyer, celui-ci est immédiatement brûlé. On fixe au centre du ciel du foyer un bouchon (fig. 505) percé, suivant son axe, d'un trou conique qu'on remplit de plomb. Quand le niveau de l'eau découvre ce bouchon, le plomb entre en fusion, la vapeur se précipite dans le foyer et éteint le feu.



Fig. 505. — Bouchon fusible.

Le bouchon fusible est indispensable, mais il faut le changer de temps en temps, car il peut cesser d'adhérer à son siége et sauter mal à propos. Il arrive aussi que lorsqu'il est trop ancien et couvert d'oxyde, son point de fusion se trouve considérablement retardé.

Niveau d'eau. — Il faut que le mécanicien connaisse à chaque instant, avec exactitude, à quelle hauteur l'eau se trouve dans la chaudière. A cet effet, un tube de verre *t* (fig. 506) est placé à côté de la porte du foyer et réuni à la chaudière par deux tubulures en bronze *t't''*, dont l'une pénètre dans l'espace occupé par la vapeur, l'autre dans l'eau. Ces tubulures sont munies de robinets K et K',

au moyen desquels on peut empêcher l'eau et la vapeur de s'échapper quand le tube vient à se briser. Un troisième robinet K″ sert à vérifier si les conduits sont bien libres en permettant de vider le tube. L'eau s'élève dans le tube à la même hauteur que dans la chaudière, pourvu que la communication soit bien établie dans le haut et dans le bas.

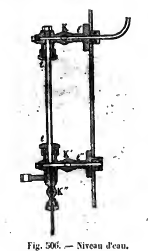


Fig. 506. — Niveau d'eau.

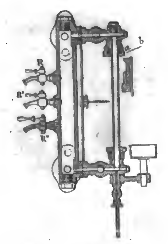


Fig. 507. — Robinets d'épreuve.

Robinets d'épreuve. — A côté du niveau d'eau se trouvent trois robinets R, R' et R″, dont le supérieur, R, doit toujours communiquer avec la vapeur, et l'inférieur, R″, avec l'eau. Ils jouent le même rôle que le niveau d'eau et le remplacent quand il est obstrué ou brisé.

On réunit souvent ces deux appareils en un seul, appelé *clarinette* (fig. 507); mais cette disposition, imaginée par Stephenson, est vicieuse, parce qu'on est tout à coup privé de tout moyen de vérification si les canaux qui vont à la chaudière s'obstruent. Elle est d'ailleurs coûteuse.

Manomètres. — Pour que le mécanicien puisse tirer tout le parti possible de la machine qu'il dirige, il faut qu'il connaisse à chaque instant quelle est la tension de la vapeur dans la chaudière; il faut surtout qu'il sache si cette pression tend à augmenter ou à dimi-

nuer. A cet effet, chaque machine doit être munie d'un manomètre.

Les manomètres à air libre des machines fixes ne peuvent con-

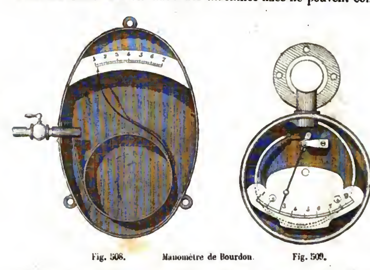


Fig. 508. Manomètre de Bourdon. Fig. 509.

venir pour les machines locomotives, à cause de la grande hauteur du tube, qui serait au moins de 3^{m},80; aussi n'a-t-on employé pendant longtemps que des manomètres à air comprimé. Ces derniers sont peu sensibles et leurs indications se faussent fréquemment; on leur substitue aujourd'hui des manomètres à air libre dans lesquels la pression de la vapeur s'exerce sur un petit piston, tandis que la colonne de mercure agit sur un autre piston dont la surface est environ vingt fois plus grande. Ces deux pistons étant rendus solidaires l'un de l'autre, il en résulte que chaque atmosphère est représentée par une colonne de mercure de $\frac{0^{m},76}{20} = 0^{m},038$.

Cet instrument (fig. 510 et 511), qui a été inventé par M. Galy-Cazalat, est plus généralement connu sous la dénomination de *manomètre de Journeux*, du nom de l'industriel qui s'occupe de sa construction.

Le *manomètre Bourdon* (fig. 508 et 509) se compose d'un tube métallique enroulé en forme de spirale. La vapeur qui agit dans l'intérieur de ce tube tend à le redresser; une aiguille est mise en

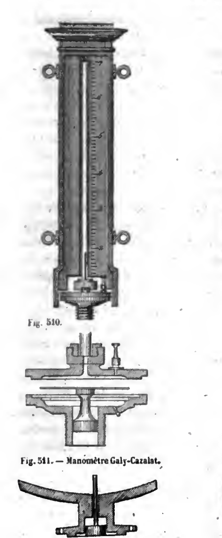


Fig. 510.

Fig. 511. — Manomètre Galy-Cazalat.

Fig. 514.
Détails du manomètre Desbordes.

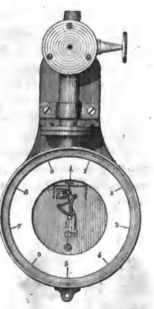


Fig. 512.
Manomètre Desbordes.

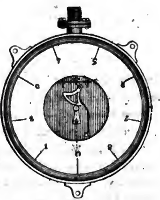


Fig. 513.
Manomètre Desbordes.

mouvement quand cet effet a lieu et indique sur un cadran la valeur de la déformation et l'intensité de la cause qui l'a produite.

Le *manomètre de Desbordes* (fig. 512, 513 et 514) est adopté aujourd'hui sur un grand nombre de lignes. Dans cet appareil, la tige du petit piston sur lequel agit la vapeur vient appuyer sur une lame d'acier, placée horizontalement, dont les extrémités sont fixes, et la force à prendre une courbure plus ou moins prononcée suivant la pression de la vapeur. Cette lame ainsi poussée fait l'office de levier sur un arc de cercle en cuivre denté communiquant au pignon sur lequel est fixée l'aiguille le mouvement de rotation qui indique la pression de la vapeur.

Sifflet. — Le sifflet, représenté figure 515, sert à signaler l'approche de la machine. Il consiste en une cloche portée sur une tige verticale et dont les bords, taillés en biseau, sont placés à une petite distance au-dessus d'un vide annulaire très-étroit ménagé entre les bords d'une espèce de godet semi-sphérique et d'un champignon en métal. Au moyen d'un robinet ou d'une petite soupape, le mécanicien peut admettre de la vapeur dans la partie inférieure de cet appareil; cette vapeur s'échappe par la fente annulaire, et, en frappant contre les bords de la cloche, produit un son qui s'entend de fort loin. On emploie pour la cloche du bronze de même composition que celui des timbres de pendules.

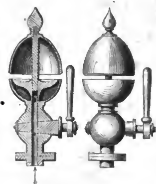


Fig. 515. — Sifflet.

Trou d'homme. — Le trou d'homme sert à visiter l'intérieur de la chaudière et surtout le régulateur. Quelquefois il n'y a pas de trou d'homme spécial; alors le dôme de prise de vapeur peut se démonter près du corps de la chaudière. Dans les machines à dôme pyramidal, le trou d'homme est fermé par un disque autoclave, comme dans les chaudières des machines fixes; il est généralement placé sur la face antérieure de ce dôme.

Robinets et tampons de vidange. — La quantité d'eau vapo-

risée par les machines locomotives est très-considérable, et cette eau est toujours chargée d'une certaine quantité de sels à l'état de dissolution. Souvent aussi elle est troublée par la présence de dépôts vaseux dont on ne pourrait se défaire que par une filtration lente et coûteuse. Or on sait que la vapeur qui se produit contient peu ou point de ces substances; il en résulte qu'elles restent presque en totalité dans la chaudière, dans laquelle elles forment des dépôts vaseux ou adhérents aux surfaces. Après un certain parcours, dont la longueur varie avec la pureté des eaux employées, il devient nécessaire de vider complétement la chaudière.

Les *robinets de vidange*, généralement au nombre de deux, sont fixés dans le bas de la boîte à feu. Quand on les ouvre, la totalité de l'eau contenue dans la chaudière s'écoule, et l'on peut procéder au lavage de cette chaudière. Souvent ils portent à leur extrémité un pas de vis sur lequel on adapte un boyau en cuir qui communique avec le réservoir dans lequel se trouve l'eau d'alimentation, disposition qui facilite beaucoup le remplissage de la machine quand on veut la mettre en service (fig. 516). On perce aussi dans les quatre angles inférieurs de la boite à feu et dans le bas de la plaque tubulaire de la boite à fumée des trous fermés au moyen de tampons à vis en cuivre (fig. 517). D'autres fois, on fait usage de fermetures autoclaves. Quand la chaudière est vide, on introduit dans l'un de ces trous la lance d'une pompe à incendie, dont le jet enlève les matières détachées au moyen d'une tringle en cuivre que l'on manœuvre par le trou opposé.

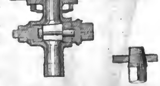


Fig. 516. — Robinet de vidange. Fig. 517. — Tampon de vidange.

Grille de la boite à fumée. — Les flammèches entraînées par le tirage en dehors de la cheminée peuvent occasionner des sinistres tout comme celles de la grille. C'est pourquoi l'on plaçait dans les anciennes machines une espèce de tamis ou crible en fil de fer au sommet de la cheminée ou à sa partie inférieure. Cet appareil nuisait au tirage, aussi l'a-t-on remplacé partout par une plaque en tôle percée de trous ou par une grille en fil de fer galvanisé, placée dans

la boîte à fumée un peu au-dessus de la rangée supérieure des tubes.

L'usage de cette plaque de tôle a paru aux ingénieurs de l'État chargés de proposer un règlement ayant pour objet d'empêcher la projection des flammèches répondre suffisamment aux besoins du service, tant qu'on ne brûle dans les locomotives que du coke ou de la houille.

Appareil de Klein. — Dans les machines où l'on brûle du bois, on fait usage d'un appareil plus compliqué, connu sous le nom d'*appareil de Klein* (fig. 518), et que M. Lechatelier décrit de la manière suivante :

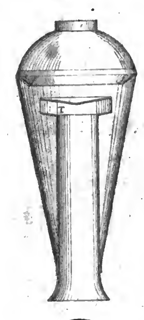




Fig. 518. — Appareil de Klein.

« Cet appareil est fondé sur la séparation ou le départ qui s'opère entre les matières de densités très-différentes lorsqu'elles sont entraînées dans un même courant qui éprouve une inflexion brusque. Il se compose de deux parties principales. La première est une sorte de turbine T en forme de ventilateur à aubes courbes, fixée d'une manière invariable sur le sommet de la cheminée; des deux surfaces entre lesquelles sont intercalées les aubes, l'une (inférieure) est percée d'un trou de même diamètre que la cheminée, l'autre est de forme conique renversée et présente son sommet dans l'axe de la cheminée; celle-ci est réduite aux trois quarts environ de sa hauteur ordinaire. Les flammèches, en sortant avec le courant de vapeur, viennent frapper le cône renversé, se réfléchissent horizontalement ou de haut en bas, glissent à la surface des aubes courbes et s'échappent tangentiellement à leur dernier élément de courbure. La seconde partie consiste dans une chemise formée de deux troncs de cônes, réunis par un anneau cylindrique qui em-

brasse la cheminée sur les deux tiers ou sur la moitié de sa hauteur et l'appareil à aubes courbes tout entier; le cône inférieur est renversé et de forme allongée, le cône supérieur est très-aplati et sa base supérieure ouverte livre une issue à la vapeur et au gaz de la combustion. Cette cheminée présente exactement la forme de la cheminée d'un haut fourneau renversé. Les flammèches, en sortant de la turbine tangentiellement aux aubes, viennent frapper la chemise conique sous un angle très-aigu, glissent sur sa surface, et, lorsque leur mouvement giratoire a été ralenti par le frottement, tombent dans l'espace compris entre la cheminée et le sommet inférieur du cône, d'où on les extrait de temps en temps par une petite porte ménagée à cet effet. Pour retenir les flammèches qui, dans leur mouvement de rotation contre les parois de la cheminée, tendraient à s'élever et à rentrer dans la circulation de vapeur et de gaz, on a placé une feuille de tôle faisant saillie à l'intérieur au raccordement du cône inférieur et de la partie cylindrique. Le courant gazeux, après avoir subi une double inflexion brusque, s'échappe par l'orifice supérieur, complétement débarrassé de flammèches. Tous les passages ouverts au courant de vapeur et de gaz ont une section beaucoup plus considérable que celle de la cheminée; par suite, le tirage n'éprouve pas de diminution notable. Cet appareil n'a qu'un inconvénient assez faible, c'est d'augmenter le volume de la cheminée et de présenter une surface plus grande à l'action du vent, mais cette surface se trouve tout au plus double de celle des cheminées ordinaires. La chemise dans sa plus grande largeur présente un diamètre triple de celui de ces cheminées. »

Échappement. — Le tuyau d'échappement qui conduit la vapeur des cylindres dans la cheminée s'élève quelquefois verticalement au milieu de la boîte à fumée, ou bien il se compose de deux branches (culottes) figures 519 et 520, qui se réunissent en un tronc commun près du point où elles débouchent dans la cheminée; lorsqu'il est unique et placé dans l'intérieur de la boîte à fumée, on lui donne une forme elliptique dans toute la partie qui correspond aux tubes, afin de faciliter le nettoyage de ceux-ci. Les tuyaux d'échappement sont ordinairement en cuivre rouge, quelquefois on les fait en fonte. Il faut éviter autant que possible de leur donner des

coudes brusques, afin de ne pas augmenter inutilement la contre-pression de la vapeur sur le piston. Il est utile de pouvoir faire

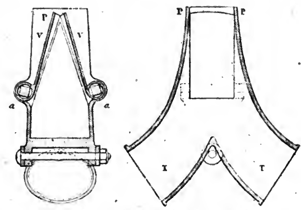


Fig. 519. Soupape d'échappement. Fig. 520.

varier à volonté la section de l'orifice d'échappement, car plus on rétrécit cet orifice, plus le tirage est énergique, mais aussi plus la contre-pression est forte; il faut donc le maintenir toujours aussi ouvert que le permet la combustion.

De nombreux appareils ont été proposés pour *rendre l'échappement variable;* nous ne décrirons que le suivant, qui a d'abord été employé sur le chemin de fer de Strasbourg à Bâle, puis adopté successivement sur toutes les autres lignes. Les tuyaux d'échappe-

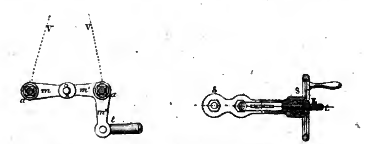


Fig. 521. Renvoi et volant de la soupape d'échappement. Fig. 522.

ment T (fig. 519 et 520) se terminent par deux surfaces planes

parallèles PP, entre lesquelles glissent en tournant autour d'axes *aa* deux valves arrondies VV. Les axes *aa* sont prolongés au dehors de la boîte à fumée et peuvent être manœuvrés par le mécanicien au moyen de la tringle filetée *tt* (fig. 521 et 522), des petites manivelles *m*, *m'*, *m''*, et du volant écrou E, dont le support S est fixé sur la boîte à feu.

Registre et autres appareils pour modérer ou suspendre le tirage. — Quand on veut diminuer l'énergie du tirage d'une machine en marche lorsque déjà on a ouvert l'échappement en grand, on ouvre une petite porte à coulisse placée sur le côté de la boîte à fumée. Il en résulte un appel d'air considérable qui diminue d'autant la quantité d'air qui traverse le combustible. On manœuvre généralement cette porte au moyen d'une longue tringle qui longe le corps cylindrique de la chaudière et se trouve ainsi à la portée du mécanicien.

On se sert encore, pour agir sur le tirage, d'une plaque horizontale placée au-dessus de la rangée supérieure des tubes. Les dimensions de la boîte à fumée doivent être en principe aussi restreintes que possible (*Guide du mécanicien*), car plus la boîte à fumée est petite, plus la dilatation de l'air dans cette boîte est grande pour une même action produite par l'échappement de la vapeur dans la cheminée, plus, par conséquent, le tirage devient alors énergique. La plaque mentionnée ci-dessus est de tous les moyens le meilleur pour réduire le volume de cette boîte. On fait, dans ce cas, descendre la cheminée jusqu'à cette plaque, assemblée par des cornières avec les parois verticales.

Les Anglais, pour modérer le tirage, emploient aussi un appareil composé de feuilles mobiles de persiennes (*Venetian blinds*) placées devant les tubes. On peut, au moyen de ces feuilles de persiennes, couvrir l'orifice des tubes en totalité ou en partie.

Nous avons déjà parlé en traitant des cendriers de la porte mobile du cendrier dont les Anglais font un fréquent usage pour modérer le tirage ou pour le suspendre tout à fait. On le suspend encore, quand la machine est arrêtée, à l'aide de l'obturateur ou *capuchon* placé sur l'orifice supérieur de la cheminée. Ce capuchon est mobile autour d'un axe vertical qui descend le long de la cheminée.

Régulateur. — Le régulateur, dont nous avons défini les fonctions, page 370, présente des dispositions qui varient à l'infini.

Dans les premières machines, il consistait en un robinet ou en une soupape qu'on manœuvrait de l'extérieur au moyen d'un arbre tournant ou d'une vis. Les robinets étaient sujets à *gripper*, c'est-à-dire que l'adhérence entre les deux surfaces frottantes devenait parfois si considérable, qu'il était impossible de les faire glisser l'une sur l'autre; les soupapes, pressées directement par la vapeur, étaient très-difficiles à séparer de leur siéges, et les joints de ces deux appareils, rodés par le passage de la vapeur, cessaient bientôt de fermer hermétiquement le conduit.

Dans le *régulateur à papillon* (fig. 523), l'extrémité du tuyau

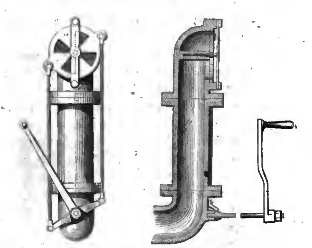


Fig 523. — Régulateur à papillon.

éducteur est fermée par un diaphragme dont la surface est dressée avec soin. Ce diaphragme est percé de quatre ouvertures situées sur deux diamètres perpendiculaires entre eux; la largeur de ces ouvertures est un peu moindre que celle des pleins qui les séparent. Un disque mobile circulaire, qu'on appelle *papillon*, s'applique sur la surface dressée du diaphragme; il est guidé dans son mouvement par une tige centrale qui pénètre dans la partie fixe du régulateur, et il est percé d'ouvertures tout à fait semblables à celles du

diaphragme. Si l'on fait tourner le disque mobile autour de son axe jusqu'à ce que ses parties pleines viennent correspondre aux ouvertures de la partie fixe, le passage de la vapeur sera interrompu. En faisant correspondre plus ou moins exactement les deux séries d'orifices, on livrera à la vapeur un passage plus ou moins grand. Un ressort qui appuie sur le disque mobile le force à rester constamment appliqué sur son siége. On manœuvre le papillon au moyen d'un arbre à manivelles qui sort de la chaudière en traversant un presse-étoupes et au moyen de deux petites bielles pendantes. Ce régulateur grippe rarement, mais il donne assez souvent lieu à des fuites de vapeur parce qu'il s'interpose des matières étrangères entre les deux surfaces frottantes, et il s'use inégalement.

Le régulateur à tiroir (fig. 524) présente beaucoup d'analogie avec le précédent, et il est généralement préféré; il se compose ordinairement d'une plaque rectangulaire mobile percée d'un ou de plusieurs orifices ou lumières également rectangulaires. Cette plaque glisse sur une table fixe percée d'orifices analogues : si les vides du tiroir mobile correspondent aux vides du siége, le régulateur est ouvert et livre passage à la vapeur; si, au contraire, les pleins du tiroir correspondent aux vides du siége, le régulateur est fermé et la vapeur ne passe pas. Le régulateur à tiroir est mis en mouvement comme celui à papillon, il doit avoir une surface aussi faible que possible, afin qu'il ne soit pas trop dur à manœuvrer.

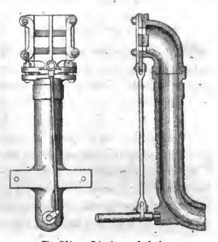


Fig. 524. — Régulateur à tiroir.

Dans plusieurs machines de construction récente on a disposé le régulateur à tiroir comme l'indique la figure 525. La tige du tiroir sort directement de la caisse en fonte et traverse deux

presse-étoupes; on la manœuvre au moyen d'un levier à poignée placé sur la boîte à feu. Cette disposition est avantageuse dans les machines dont le réservoir de vapeur est partout assez haut pour qu'il n'y ait que peu ou point d'eau entraînée avec la vapeur. Elle permet de visiter et de réparer très-facilement le régulateur.

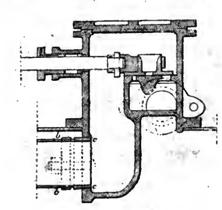


Fig. 525. — Nouveau régulateur à tiroir.

Tuyau de conduite de la vapeur. — Le tuyau par lequel la vapeur se rend de la chaudière aux cylindres est généralement en cuivre rouge, sauf dans la partie où se trouve le régulateur et celle où commencent les conduites distinctes des deux cylindres. Il est tout entier en fonte dans le cas seulement où le régulateur est placé près de la boîte à fumée. L'assemblage du tube avec la partie fixe du régulateur mérite d'être décrit : un cône en laiton placé à l'extrémité du tuyau en cuivre pénètre dans un cône intérieur exactement semblable alézé dans la fonte; les deux parties sont serrées l'une contre l'autre au moyen de deux boulons et d'un collier.

Quand le régulateur n'est pas extérieur, la partie horizontale du tuyau de prise de vapeur traverse la plaque tubulaire de la boite à fumée, sur laquelle elle est boulonnée ainsi que la culotte en fonte au moyen de laquelle s'opère la bifurcation.

Sur cette culotte ou sur la boîte du régulateur, quand il est extérieur, s'assemblent les tuyaux spéciaux de chacun des deux cylindres. Ces tuyaux sont en cuivre rouge; ils suivent les parois de la boîte à fumée, afin de ne pas cacher les tubes à fumée. Quand ils sont extérieurs, ils s'appliquent sur la chaudière et sont recouverts d'une enveloppe en tôle mince qui empêche le refroidissement.

Quelquefois leur joint sur la boîte à tiroir se fait au moyen d'un presse-étoupes, afin de ne pas contrarier les dilatations.

La somme des sections des deux tuyaux doit être égale à celle du tuyau principal.

Le tuyau de prise de vapeur de la machine Crampton, adopté aujourd'hui dans un grand nombre de machines, a une forme particulière : il occupe toute la longueur de la chaudière, ou mieux de la partie cylindrique seulement, et se raccorde dans un point voisin de l'extrémité d'avant avec une boite en fonte placée à l'intérieur et qui comprend le régulateur.

MÉCANISME MOTEUR ET DE DISTRIBUTION.

Dans ce paragraphe, nous aurons à décrire :

Les cylindres, les boites à vapeur, les pistons, les tiroirs et leurs accessoires ;

Les glissières, les têtes de piston, les bielles, manivelles, et le mécanisme qui opère la distribution ;

Les modifications qu'on a fait subir à l'appareil de distribution pour utiliser la détente de la vapeur.

Cylindres et boites à vapeur. — Nous avons vu que l'appareil moteur consiste en deux parties parfaitement symétriques disposées de part et d'autre de l'axe de la machine.

Le cylindre est un tube en fonte de 20 à 25 millimètres d'épaisseur dont la paroi intérieure est parfaitement alesée, c'est-à-dire tournée de manière à former un cylindre parfait et exempt de toute saillie et de toute rugosité. A ses deux extrémités le cylindre est muni de brides, sorte d'anneaux venus de fonte avec lui et sur lesquels s'assemblent le fond et le couvercle. La bride du fond, située à l'arrière du cylindre, est souvent intérieure, disposition qui donne à l'assemblage plus de solidité et au joint plus de durée. La bride du couvercle, située à l'avant, est toujours extérieure, sans quoi elle rétrécirait l'ouverture du cylindre et s'opposerait à l'introduction du piston. Cette disposition est motivée; en effet, il est extrêmement rare que l'on retire le fond d'un cylindre dans une machine en service, tandis qu'il faut enlever le couvercle toutes les fois qu'il y a lieu de visiter ou de réparer le piston ou la surface intérieure du cylindre. Les brides doivent être bien dressées, c'est-à-dire parfaite-

ment planes et perpendiculaires à l'axe du cylindre; le fond et le couvercle sont également dressés et fixés sur le cylindre au moyen de boulons; ils présentent tous deux une saillie cylindrique ou entrée de 0^m,05 à 0^m,06 de longueur qui pénètre dans le cylindre et sert à les centrer. Afin de rendre le joint complétement étanche, on interpose entre les deux surfaces une ficelle goudronnée entourée de mastic au minium.

Les cylindres sont généralement placés au delà du corps cylindrique de la chaudière, dans la boîte à fumée, au-dessous ou à côté de cette capacité. Cependant on trouve dans certains modèles et dans les machines du système Crampton les cylindres placés de part et d'autre du corps cylindrique entre les roues d'avant et les roues du milieu. Ils sont horizontaux ou inclinés. L'inclinaison des cylindres facilite souvent le service; mais, poussée au delà de certaines limites, 20 à 25 degrés par exemple, elle présente des inconvénients assez graves.

Les *lumières d'introduction*, *ll* (fig. 526), partent toutes deux *de la table du cylindre*, et viennent aboutir aux deux extrémités de ce cylindre aussi près de la bride que possible; leur prolongement est marqué sur les entrées du fond et du couvercle; elles sont de forme rectangulaire et présentent chacune une section proportionnelle à celle du piston.

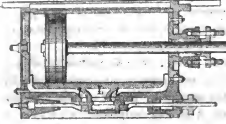


Fig. 526. — Cylindre avec tiroir inférieur.

La *lumière d'échappement* L, placée entre les deux précédentes, a une section presque double de chacune de celles-ci; elle suit, sur une certaine longueur, la paroi du cylindre, puis vient s'assembler au moyen de brides et de boulons sur le tuyau en cuivre rouge ou en fonte qui conduit la vapeur à la culotte d'échappement.

Dans les anciennes machines, la *boîte à vapeur* se composait d'un cadre en fonte boulonné sur la table du cylindre et fermé par un couvercle assemblé de la même manière. Maintenant les construc-

teurs préfèrent la faire venir de fonte avec le cylindre; cette disposition (fig. 527), qui ne présente pas de grandes difficultés de moulage, supprime un joint, ce qui est toujours avantageux.

Quand les cylindres sont intérieurs et les boites à vapeur placées sur le côté de ces cylindres, elles sont généralement assez rapprochées pour pouvoir être réunies de manière à ne former qu'une seule capacité. Dans ce cas, la paroi antérieure de la boîte commune est fermée par une plaque mobile unique qui permet de visiter et de réparer les tables des cylindres sans les démonter. Cette disposition, adoptée dans les machines à marchandises du chemin de fer de Paris à Strasbourg, est très-solide, mais elle présente l'inconvénient d'être fort peu commode pour les réparations; aussi a-t-on préféré, dans les machines mixtes et à marchandises du chemin de fer de Lyon, reporter les tiroirs obliquement sous les cylindres et fermer la partie inférieure de la boite à vapeur par une grande plaque mobile.

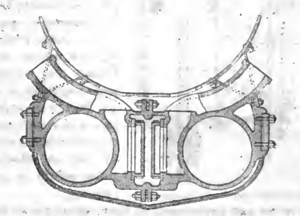
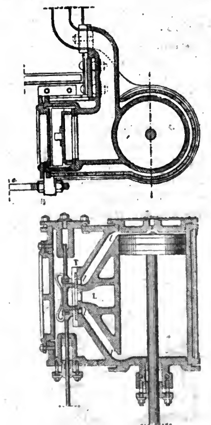


Fig. 527. — Cylindres avec tiroirs intérieurs.

Quand les cylindres sont extérieurs, ils sont trop écartés pour qu'on puisse réunir leurs boîtes à vapeur; on ferme alors celles-ci par de grands plateaux convenablement consolidés par des nervures. Généralement on rend mobile la paroi antérieure de ces boîtes, afin de pouvoir introduire la tige du tiroir. On réunit alors les deux boîtes à tiroirs par une ou deux entre-toises en fer e

(fig. 528), sorte de gros boulons portant quatre écrous serrés sur de fortes oreilles venues de fonte avec la boite à tiroirs.


Fig. 528.—Cylindres extérieurs avec tiroirs intérieurs.

Les tiges des pistons et des tiroirs traversent les fonds des cylindres et des boîtes à vapeur et doivent glisser sans donner issue à la vapeur dans les ouvertures qui y sont ménagées. A cet effet, l'on munit ces ouvertures des *tuffing-box*, ou *boîtes à étoupes*, cavités cylindriques dans lesquelles on comprime des tresses de chanvre enduit de suif, au moyen de couvercles serrés par deux boulons. Les parties métalliques qui sont exposées à être frottées par les tiges doivent être en bronze, afin d'éviter une usure trop rapide de ces tiges. Dans ce cas, le fond est garni d'un *grain* G (fig. 529) et le couvercle tout entier est fait avec cet alliage. Des godets servent à graisser l'appareil.

Les *tiroirs* sont généralement en fonte, quelquefois en bronze. La fonte de bonne qualité, ne donnant pas lieu à plus de frottements que le bronze et coûtant moins cher, obtient généralement la préférence. Nous avons déjà décrit sommairement la forme et les fonctions des tiroirs, nous allons entrer dans quelques développements à cet égard.

Les figures 530, A, B, C, représentent les trois positions principales que peut prendre le tiroir. Dans la figure A, la vapeur qui rem-

plit la boite à tiroir pénètre dans la capacité 1 du cylindre et force le piston à marcher dans le sens indiqué par la flèche, tandis que

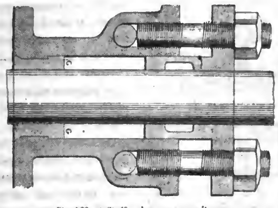
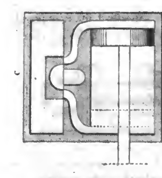
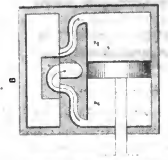


Fig. 529. — Stuffing-box, ou presse-étoupes.

celle qui est contenue dans la capacité 2 s'échappe dans l'atmosphère. L'inverse a lieu pour la position du tiroir qui est représentée dans la figure B. Enfin, quand le tiroir occupe la position C, il intercepte toute communication du cylindre soit avec la boite à vapeur, soit avec le tuyau d'échappement. La position C, que nous appellerons *position moyenne*, parce qu'elle partage en deux parties égales le chemin que doit parcourir le tiroir pour passer d'une des *positions extrêmes* A à l'autre B, convient au tiroir quand le piston est à l'une des extrémités de sa course. En effet, si nous nous reportons à la figure C, nous verrons qu'il suffit de déplacer le tiroir d'une très-faible quantité dans un sens ou dans l'autre, pour que la vapeur soit admise sur l'une ou l'autre face du piston et s'échappe du côté où elle remplit déjà le cylindre. Il en résulte que, *toutes les fois que le piston est au bout de sa course, le tiroir doit être au milieu de la sienne.* Si nous poursuivons cet examen, nous voyons également que, *pour que le piston se mette à marcher dans un sens quand il est près d'une des extrémités de sa course, il faut que le tiroir marche aussi dans le même sens.*

Des deux faits que nous venons de constater, nous déduisons la règle suivante :





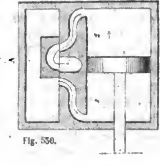


Fig. 530.

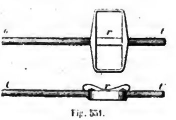


Fig. 531.

Pendant que le piston passe d'une des extrémités de sa course à l'autre, le tiroir, qui occupe sa position moyenne, marche d'abord dans le même sens que le piston jusqu'à ce qu'il soit arrivé à sa position extrême, et revient à sa position moyenne au moment où le piston arrive au bout de sa course.

Nous verrons plus loin comment les tiroirs reçoivent le mouvement de la machine une fois qu'elle est en marche; nous verrons également les modifications qu'il convient d'apporter dans cette distribution normale pour tirer de la vapeur tout le parti possible.

Le tiroir est exposé à s'user, et il arrive parfois qu'il se lève pour donner passage à l'air comprimé par le piston quand le mécanisme de changement de marche est disposé pour la marche en arrière, tandis que la machine continue son mouvement en avant. C'est pourquoi il est logé dans un cadre en fer généralement venu de forge avec la tige (fig. 531) qui communique le mouvement alternatif au tiroir. Un ressort *r*, fixé sur le cadre, l'appuie continuellement sur son siége.

Quand les tiroirs sont disposés latéralement aux cylindres ou sous ces cylindres, la tige t porte un prolongement t' au delà du cadre; ce prolongement pénètre dans la paroi antérieure de la boite à tiroir, de sorte que la tige se trouve guidée par les deux bouts dans son mouvement rectiligne.

Les cylindres portent aux deux extrémités de leur génératrice inférieure deux robinets en bronze que le mécanicien peut ouvrir ou fermer à volonté, depuis sa plate-forme, au moyen d'une tringle à poignée, de bielles et d'un arbre à manivelles. Il est bon de disposer un robinet semblable sous les boites à vapeur. Ces robinets, dits *purgeurs*, sont destinés à évacuer l'eau de condensation qui se dépose dans les cylindres quand leurs parois sont froides et celle qui est souvent entraînée par la vapeur.

Le couvercle des cylindres et quelquefois la boite à tiroir portent un autre robinet qui sert à graisser les surfaces frottantes. La disposition représentée figure 532 permet de graisser, la machine étant en marche. Le robinet r étant ouvert, celui r' fermé, on remplit d'huile le réservoir sphérique s, puis on ferme r, on ouvre r', et l'huile pénètre dans le cylindre.

Fig. 532.

Dans l'origine, les cylindres étant toujours placés dans l'intérieur de la boite à fumée, on les fixait au moyen de leurs brides sur la plaque tubulaire et sur la paroi antérieure de cette capacité. Cette disposition fatiguait la chaudière et ne présentait pas une solidité suffisante; aussi fixe-t-on maintenant les cylindres directement sur les longerons des châssis au moyen de larges pattes en fonte. On ne doit rien négliger pour rendre les cylindres parfaitement fixes par rapport au mécanisme de la machine; et, à cet effet, on doit les attacher surtout sur le châssis. Il est bon néanmoins de les relier à la boite à fumée, afin que toutes les parties qui composent la machine soient solidaires les unes des autres.

Quand les cylindres ne sont pas contenus dans la boite à fumée, il est nécessaire de les préserver du refroidissement qui résulterait du contact immédiat de leurs parois avec l'air sans cesse renouvelé par la marche de la machine. A cet effet, on les entoure d'une en-

veloppe en feutre et bois qu'on recouvre même quelquefois de tôle. Le couvercle est évidé de manière à présenter une cavité qu'on remplit de feutre et qu'on recouvre d'une plaque de tôle ou de laiton. On en fait autant pour le plateau qui ferme la boîte à tiroir. La figure 328 indique suffisamment les dispositions de cette enveloppe.

M. Polonceau a aussi employé avec avantage l'enveloppe de vapeur employée pour les machines fixes. (*Voir* plus loin le résultat de ces expériences avec des cylindres, avec ou sans enveloppe de vapeur.)

Théoriquement, la distance qui sépare le fond du couvercle d'un cylindre devrait être égale à la course du piston, augmentée de l'épaisseur du piston. Mais, si l'on n'augmentait pas cette longueur, la moindre usure dans les organes de transformation de mouvement ou la plus petite quantité de matières étrangères solides ou liquides amèneraient inévitablement la rupture du cylindre ou de son fond. Pour éviter cette rupture, on donne au vide du cylindre un petit excédant de longueur, qu'on appelle *jeu du piston*.

Les tiroirs sont placés tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du cylindre, tantôt sur le côté à l'intérieur ou à l'extérieur, et ils sont horizontaux ou deviennent inclinés. Dans les machines Crampton et Engerth ils sont placés en dessous et obliques. Dans les machines à marchandises à cylindres intérieurs M. Polonceau les a placés latéralement et du côté extérieur, afin de pouvoir donner un grand diamètre aux cylindres. Dans d'autres machines à cylindres extérieurs on les place latéralement et à l'intérieur. Enfin dans la machine le *Rhin* ils sont en dessous et inclinés.

Pistons. — On distingue dans le piston trois parties principales : le *corps*, la *tige*, la *garniture*. Le corps du piston se compose de deux disques dits *plateaux*, d'un diamètre un peu moindre que le cylindre. L'un de ces disques, *dd* (fig. 333), porte en son milieu un renflement *ss*, à quatre oreilles, alesé, conique à l'intérieur. L'extrémité de la tige du piston pénètre dans cette espèce de moyeu et s'y fixe au moyen d'une clavette qui les traverse tous les deux. Le second plateau, *d'd'*, présente une simple ouverture circulaire dans laquelle se loge l'extrémité du renflement dont nous venons de

parler; quatre boulons, dont les têtes et les écrous sont logés dans l'épaisseur de la fonte afin de ne pas faire saillie sur le corps du piston, réunissent les deux disques.

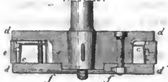
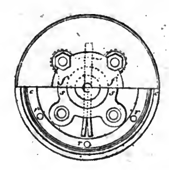


Fig. 533. — Coupe d'un piston.

Le plateau *d'd'*, ainsi que les écrous des boulons, doit se trouver du côté du couvercle du cylindre, afin qu'on puisse visiter la garniture du piston sans le sortir complétement.

Un *frein ff*, formé d'une plaque de tôle échancrée de manière à embrasser les écrous et à ne pas les laisser tourner, est également encastré dans le plateau mobile et tenu en place au moyen d'une forte *goupille* que traverse l'extrémité de la tige du piston; enfin l'on goupille aussi les boulons, afin qu'ils ne puissent ni tourner ni sortir de leurs logements.

Dans plusieurs machines construites tout récemment, la tige est terminée par deux cônes dont les grandes bases sont séparées par une embase cylindrique (fig. 534). Les deux plateaux sont alors



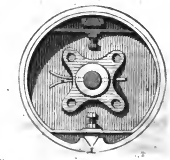


Fig. 534. — Pistons.

presque exactement semblables et serrés sur cette embase par les quatre boulons, au lieu d'être clavetés sur la tige. Ce système a l'inconvénient grave de laisser prendre du jeu aux plateaux sur la tige.

Une des meilleures dispositions consiste à fixer à vis le plateau

sur la tige. La vis est légèrement conique et le pas très-fort. On ajuste et on rode les taraudages l'un sur l'autre, puis on visse avec une barre de 4 mètres de longueur mue par quatre hommes, de manière à avoir un serrage très-puissant. On passe ensuite une broche en acier à travers le tout.

Un autre mode d'assemblage de la tige et du piston qui jouit aujourd'hui d'une grande faveur consiste dans l'emmanchement conique retenu par une forte clavette; c'est du moins celui qui est employé au chemin de fer de l'Est presque exclusivement.

La garniture se compose toujours de deux anneaux superposés, en fonte ou en bronze, appelés *segments*. Aujourd'hui la fonte est généralement préférée pour les pistons, par les mêmes raisons qui l'ont fait adopter pour les tiroirs.

Anciens pistons à ressort. — Les segments sont toujours fendus en un ou plusieurs points de leur circonférence, afin de pouvoir être appliqués exactement contre les parois du cylindre; ils sont disposés *plein sur joint*, c'est-à-dire que les fentes de l'un correspondent au milieu des parties qui composent l'autre. Des *coins*, ou quelquefois de *petites plaques* qui épousent exactement la forme intérieure du segment, ferment toute issue à la vapeur, qui sans cela pénétrerait par les fentes d'un des segments dans l'intérieur du piston et ressortirait par celles de l'autre segment (fig. 555). Des ressorts logés dans le vide qui existe dans le corps du piston pressent sur les coins ou plaques, et empêchent ainsi la garniture de s'écarter des parois du cylindre. On a employé d'abord à cet effet des ressorts à boudin, puis de petits ressorts plats qu'on bandait au moyen de vis; mais on a fini par donner la préférence aux segments à une seule fente, munis d'un coin (fig. 554) et d'un grand ressort circulaire qui est plus élastique et moins sujet à se briser que les petits ressorts ou les ressorts à boudin.

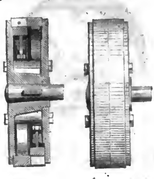


Fig. 555.

L'épaisseur du segment est alors inégale et croît depuis la fente qui reçoit le coin jusqu'à l'extrémité opposée du coin correspondant.

Dans un autre piston construit sur les indications de M. Goussart, les segments sont forcés à s'ouvrir par une cuvette conique qui est pressée par de petits ressorts à boudins. En obéissant à l'action de ces ressorts, la cuvette appuie sur de petits tasseaux venus de fonte avec les segments et faisant partie du couvre-joint. Ce piston est bon, mais coûteux d'entretien et difficile à bien établir.

On a aussi employé des segments faisant eux-mêmes ressort et fermés à la fente par une petite lame d'acier ou de bronze ajustée à queue d'aronde; pour cela, on fend le segment, et il s'ouvre sur un diamètre un peu supérieur à celui du cylindre; entrés de force dans le cylindre, ces segments pressent les parois par leur propre élasticité, et, s'ils sont construits avec soin, ils peuvent rendre d'utiles services; mais, lorsqu'ils sont mal exécutés, ils remplissent imparfaitement le but; c'est ce qui a eu lieu le plus souvent lorsqu'on en a fait l'emploi, et c'est ce qui explique comment on a renoncé à leur usage.

Dans les premières machines, c'était une garniture en chanvre qui faisait l'office des ressorts; cette disposition est entièrement abandonnée, parce qu'au bout de fort peu de temps le chanvre perd toute son élasticité par suite de son contact avec la vapeur à une haute température, la graisse et les sédiments qui sont entraînés dans les cylindres.

Malgré tous les soins donnés à leur construction et à leur entretien, les pistons en fonte se brisant encore assez fréquemment, on est arrivé, il y a quelques années, à les faire entièrement en fer forgé. La figure 557 représente un de ces pistons, dont on a fait souvent usage en France. Le corps du piston, composé du moyeu, du plateau et de la zone annulaire à travers laquelle passent les boulons, est forgé d'une seule pièce; le plateau du dessus seul est rapporté, il est également en fer.

Le forgeage de ces pistons exige une disposition de matrices bien organisée et un marteau pilon d'une grande puissance. Il n'y a pas plus de dix années, on aurait regardé comme impossible d'obtenir de semblables pièces en fer forgé.

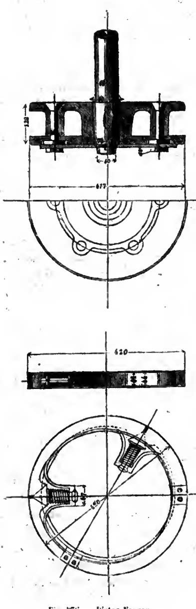


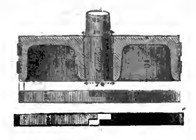
Fig. 536. — Piston Vaucamp.

Piston Vancamp. — La figure 536 représente un segment de piston du système de M. Vancamp; ces segments sont formés de deux pièces assemblées à charnière qui peuvent s'appliquer plus facilement sur les parois du cylindre. Le coin est poussé par un ressort à boudin qui n'a pas besoin d'une forte tension. L'emploi de ces segments s'est étendu à une grande partie des chemins de fer français.

Piston Ramsbottom. — Un autre système de piston très-simple et qui jouit d'une grande faveur est celui qu'a inventé M. Ramsbottom. Il se compose d'un corps de piston en fer forgé d'une seule pièce évidée à sa partie supérieure pour en diminuer le poids. Sur la circonférence sont ménagées des gorges dans lesquelles on introduit de petits cercles en acier doux fondu qui font ressort et viennent presser sur les parois du cylindre. Ce piston se distingue par une très-grande simplicité et une très-grande légèreté;

et les frais d'entretien qu'il exige sont très-peu considérables.

Piston suédois. — Le piston suédois (fig. 537) ne diffère du piston Ramsbottom qu'en ce que les cercles de ce piston, au nombre de deux, sont en fonte, au lieu d'être en acier, et beaucoup plus larges.



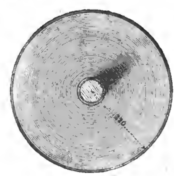


Fig. 537. — Piston suédois.

Il y a longtemps déjà que M. Cavé a employé des pistons du même genre que le piston Ramsbottom ou le piston suédois pour les cylindres de ses marteaux pilons.

Les garnitures d'acier ont été essayées pour les pistons à ressort, mais elles n'ont pas donné de bons résultats. Elles grippaient facilement et étaient cassantes.

Quand le piston est écarté du fond du cylindre, il tend à venir s'appliquer sur la partie inférieure de ce cylindre. Cet effet ne peut avoir lieu que si la tige fléchit, ce qui produit des frottements nuisibles et use inégalement le cylindre. Afin d'éviter cette flexion, on soutient quelquefois le corps du piston et sa tige au moyen de deux petits ressorts qui s'appuient à leurs deux extrémités sur le corps du piston, et qu'on règle au moyen de vis taraudées dans leur épaisseur et butant sur les segments.

La tige du piston est en acier tourné et poli. Elle est parfaitement cylindrique, sauf à l'extrémité qui pénètre dans le corps et à celle qui reçoit la tête du piston.

Nous avons déjà décrit les deux formes les plus usitées de l'emmanchement dans le corps du piston; l'autre bout de la tige est aminci, de manière à former un cône très-allongé.

Têtes de piston et glissières. — La bielle reçoit de la part du piston des pressions qui, vu l'obliquité qu'elle présente dans presque toutes ses positions, tendent à fausser la tige du piston. Il

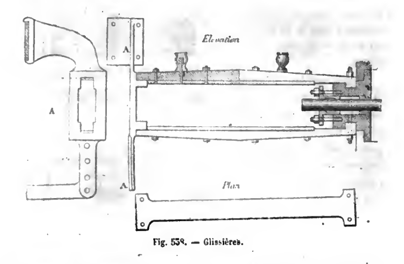


Fig. 539. — Glissières.

en résulte la nécessité de guider l'extrémité de cette tige dans son mouvement rectiligne.

A cet effet, l'on dispose en dessus et en dessous de la tige deux règles plates appelées *glissières* (fig. 538).

Les glissières sont en acier ou en fer recouvert d'une mise d'acier fixée au moyen de boulons à têtes noyées.

La face inférieure de la glissière supérieure et la face supérieure de la glissière inférieure sont parfaitement planes; leur axe se trouve de plus dans le même plan vertical que l'axe du cylindre et lui est parallèle. Les glissières sont fixées d'une part sur le corps du presse-étoupes du cylindre, d'autre part sur une *arcade* A, solidement attachée au bâti de la machine. Cette arcade est tantôt pleine (fig. 539), tantôt évidée (fig. 538), suivant que la bielle est à fourche ou droite.

Les glissières, étant solidement arrêtées par leurs deux extrémités, tendent surtout à fléchir vers le milieu de leur longueur, aussi leur épaisseur va-t-elle en croissant des extrémités vers le

milieu. Leur largeur est nécessairement constante; elle doit être de dimensions telles, que la pression soit répartie sur une grande surface.

La *tête*, *crosse* ou *coquille* du piston qui se meut entre les glissières est en fer; elle est percée d'un trou conique dans lequel pénètre le cône qui termine la tige du piston; l'assemblage est fait au moyen d'une forte clavette, qu'on goupille afin qu'elle ne puisse se desserrer en marche.

On distingue dans la coquille le *corps*, les *coulisseaux* et le ou les *tourillons*. Il existe une variété infinie dans les dispositions de ces pièces; mais elles rentrent toutes à peu près dans les deux types suivants :

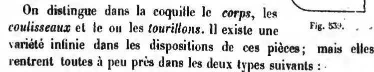
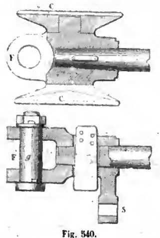


Fig. 539.

Quand la bielle est droite, le corps de la coquille présente la forme d'une fourche F (fig. 540), entre les deux branches de laquelle vient se placer une des têtes de la bielle. Un boulon ou goujon *g* force la bielle à suivre le mouvement du piston, tout en lui permettant d'osciller dans un plan vertical. Les coulisseaux CC sont fixés au moyen de vis sur la crosse, ou bien ils sont entraînés dans son mouvement par deux petites saillies cylindriques de cette crosse qui viennent se loger dans le coulisseau. Dans ce dernier cas ils peuvent obéir aux petites irrégularités que présentent quelquefois les glissières. Les coulisseaux sont en fonte, bronze ou acier. La fonte acquiert un fort beau poli et présente beaucoup de durée quand



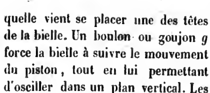


Fig. 540.

on la graisse soigneusement dans le début; le bronze a le défaut de s'user trop rapidement, et l'acier celui de rayer fréquemment dans les glissières. M. Polonceau a employé avec beaucoup de succès la fonte alliée à 4 pour 100 d'étain. Il convient de renfler la tige du piston dans son assemblage avec la crosse, afin que le passage de la clavette ne l'affaiblisse pas. Pour cela on fend en deux le cylindre en bronze qui garnit le presse-étoupe, de manière à laisser passer la tige.

Souvent le boulon qui fixe la bielle à la crosse de piston n'est pas au centre des coulisseaux; les parties frottantes s'usent alors rapidement et irrégulièrement; la tige du piston est exposée à se forcer.

Dans la figure 540, qui représente la crosse des machines à voyageurs du chemin de fer de Lyon, la patte S sert à mettre en mouvement le plongeur de la pompe.

Quand la bielle est à fourche, le corps de la coquille est plein et porte généralement deux tourillons *tt* (fig. 541) latéraux qui re-

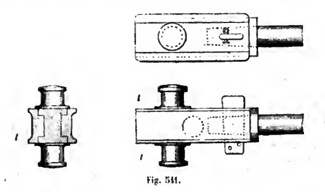


Fig. 541.

çoivent les deux bras de la bielle. D'autres fois il est traversé par un goujon unique qui tantôt peut tourner dans une bague en bronze rapportée à cet effet dans son intérieur, tantôt est maintenu fixe au moyen d'une goupille. La disposition des coulisseaux est la même que celle qui vient d'être indiquée.

Dans les machines de Sharp-Roberts, il y a quatre glissières par cylindre, fixées latéralement au bâti de la machine. La crosse

(fig. 542) est à fourche; elle est traversée par un petit arbre *aa* qui sert de point d'attache à la bielle et porte à chacune de ses extrémités un coulisseau. Cette disposition, quoique bonne, est généralement abandonnée, parce qu'elle exige quatre glissières par cylindre, ce qui est presque toujours gênant.

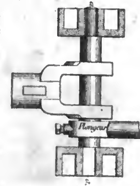
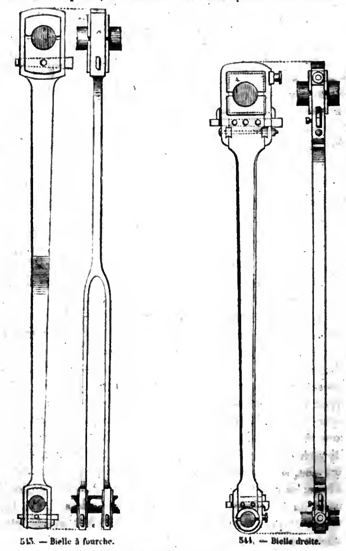


Fig. 542.

Bielles. — Les bielles transmettent le mouvement du piston à l'essieu à manivelles. Elles se composent de trois parties : les deux têtes et le corps de la bielle. L'une des têtes est reliée, avons-nous dit, avec la tige du piston, l'autre avec l'essieu; la première s'appelle la *petite tête*, la seconde la *grosse tête* de la bielle. La bielle est *à fourche* (fig. 543) ou *droite* (fig. 544). Quand elle est droite, elle pénètre dans la tête du piston; quand elle est à fourche, elle embrasse la coquille à droite et à gauche des glissières. Cette dernière disposition a été fort longtemps en faveur. La bielle à fourche est cependant coûteuse d'exécution, et, si elle n'est pas parfaitement ajustée, elle donne lieu à des tractions obliques qui en occasionnent quelquefois la rupture.

La section des bielles est circulaire ou rectangulaire. La forme circulaire est plus avantageuse que la forme rectangulaire sous le rapport de la résistance à la compression; cependant elle n'est plus employée, parce qu'elle est difficile à raccorder avec celle de la grosse tête de bielle, qui présente la forme d'un rectangle dont le côté vertical est beaucoup plus grand que le côté horizontal, et parce que, si l'un des tourillons vient à *gripper*, l'effort considérable qui en résulte tend à opérer la rupture dans le sens du plan vertical du mouvement. La forme des têtes varie à l'infini. La figure 545 représente une petite tête de bielle fort simple; elle se compose d'un renflement cylindrique percé d'un œil garni d'un anneau en bronze qu'on peut remplacer quand il est ovalisé par l'usure. Cette tête de bielle est peu coûteuse, et, quand elle est bien exécutée, elle est fort bonne et dure très-longtemps sans avoir be-

soin d'être réparée, à cause de la faible amplitude du mouvement



543. — Bielle à fourche. 544. — Bielle droite.

qui a lieu en ce point. La disposition représentée dans la figure 546 est fort usitée dans les bielles à fourche. On *rattrape* l'usure au moyen de clavettes qui permettent de resserrer les coussinets quand

ils n'embrassent plus exactement les tourillons; mais elle a le grave défaut d'occasionner la rupture des tiges de piston, parce que, les coussinets s'usant inégalement et les mécaniciens serrant plus un côté que l'autre, la bielle et la tige de piston se tordent. Toutes les machines ainsi montées brisent leurs bielles ou leurs tiges de piston au bout d'un certain temps de service.



Fig. 545

La tête de bielle figure 547, dite à *chape mobile*, présente l'avantage d'occuper peu d'espace en longueur du côté opposé

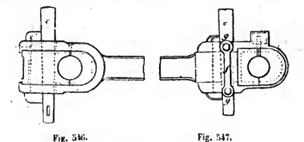


Fig. 546. Fig. 547.

au corps de la bielle; aussi l'emploie-t-on quand celle-ci est déjà un peu courte par suite d'un trop grand rapprochement des roues. Une *clavette c* et une *contre-clavette c'* permettent de donner du serrage aux coussinets.

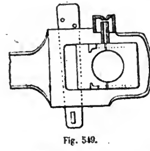
Enfin la figure 548 représente une petite tête de bielle dans laquelle les clavettes sont remplacées par un coin qu'on rappelle au moyen d'une vis qui le traverse dans toute sa longueur.

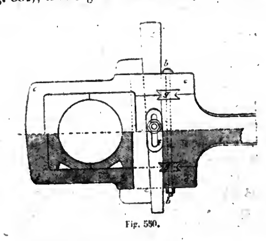
Fig. 548.

La grosse tête de la bielle présente les mêmes dispositions que la petite tête. Quand les cylindres sont extérieurs, la disposition représentée dans la figure 549 est celle qui convient le mieux. La tête est venue tout entière de forge avec la bielle; elle est munie de deux coussinets en bronze qu'on serre au moyen d'une clavette ou d'un coin rappelé par une vis.

Pour les machines à cylindres intérieurs on ne peut faire usage de la bielle à tête fermée, parce que le manneton se trouve logé

entre les deux coudes de l'essieu. Alors on fait usage tantôt de la bielle à tête ouverte, tantôt de la bielle de Sharp (fig. 550), dans laquelle la chape *cc* est rapportée et rendue solidaire du corps de la bielle au moyen de deux petites cales *gg* en *queue d'aronde* et d'un boulon *bb* qui serre le tout. Cette disposition est bonne, car il est important que la chape ne puisse pas se détacher quand les clavettes viennent à se desserrer. Enfin, quelquefois la chape est remplacée par un étrier en fer rond (fig. 551); le serrage se donne au moyen de doubles écrous.


Fig. 549.


Fig. 550.

La figure 552 représente la forme la plus usitée des bielles d'accouplement, qui sont toujours extérieures. Quand les six roues sont couplées ensemble, on réunit les deux bielles au moyen d'un goujon qui traverse la fourchette *f* de l'une et la tête simple de l'autre sans l'intermédiaire de coussinets. Cette disposition est très-convenable, car il n'existe en ce point qu'un très-faible mouvement, dû aux oscillations verticales des boîtes à graisse dans les plaques de garde.

Les deux tourillons que relie une bielle doivent conserver con-

stamment une distance invariable; c'est pourquoi l'on doit toujours disposer les têtes de bielles de manière que le serrage de l'une

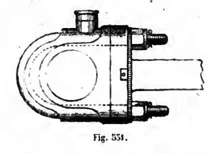


Fig. 551.

tende à augmenter la distance des deux centres, tandis que celui de l'autre tend à la diminuer.

Enfin, il est de la plus haute importance que les clavettes ne puissent se desserrer. A cet effet, on les arrête au moyen de goupilles qu'on chasse dans des trous percés en quinconce, ou bien on fait dans la tranche de la contre-clavette des encoches demi-cylindriques, écartées de $0^m,01$, dans la clavette des entailles analogues espacées de $0^m,011$, ce qui forme une espèce de *vernier*. Quand on donne du serrage à la clavette, on peut toujours amener deux encoches exactement en face l'une de l'autre et y passer une goupille.



Fig. 552.

D'autres fois on munit la tête de bielle de *vis de pression* qui viennent s'appuyer sur la clavette. Dans ce cas, il devient nécessaire d'empêcher également tout mouvement dans les vis, ce que l'on fait en emprisonnant leurs têtes dans un frein, maintenu lui-même par deux goupilles.

Enfin l'on emploie très-fréquemment un frein qui consiste en

une petite platine percée d'une fente à travers laquelle passe un boulon. En serrant le boulon, on fait appuyer fortement la platine sur la clavette, et l'on empêche celle-ci de glisser[1].

Sur quelques chemins de fer où le petit rayon des courbes rend plus graves les chances de rupture, on a attaché au châssis des pièces de fer en forme de coulisses fermées par le bas, dans l'intérieur desquelles les bielles jouent librement, et qui les empêchent de venir buter contre les traverses de la voie ou contre le sol, lorsqu'elles se brisent près de la tête d'avant; on a eu, en effet, des exemples de bielles qui, en butant contre un obstacle rigide après s'être brisées, ont occasionné de très-graves accidents. — La même précaution peut être employée pour les bielles motrices; mais elle ne paraît nécessaire que pour les chemins de fer à courbes de petit rayon, surtout lorsque la nature du fer employé n'est pas de premier choix et lorsque les bielles, n'ayant qu'une faible longueur, sont peu flexibles.

Manivelle. — Quand les cylindres sont extérieurs, le moyeu des roues motrices porte un renflement percé d'un trou dont l'axe se trouve à une distance de l'axe de l'essieu moteur égale à la demi-course du piston (fig. 553). Dans ce trou vient se loger le *bouton*

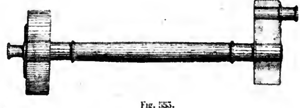


Fig. 553.

de manivelle en fer trempé. Ce bouton entre très-juste dans la cavité qui le reçoit, et il est rivé sur le moyeu de manière à ne pouvoir s'en détacher. Dans les machines Crampton, il est venu de forge avec une *contre-manivelle* qui reçoit les excentriques

[1] Les mêmes dispositions servent également dans toutes les pièces du mécanisme qui ne doivent pouvoir se desserrer. Pour les écrous on emploie des contre-écrous, des goupilles ou un frein. Quelquefois aussi on fait appuyer un simple ressort sur l'un des pans de l'écrou.

(fig. 554). Quand les cylindres sont intérieurs, les manivelles ne sont autre chose que deux coudes de cet essieu (fig. 555).

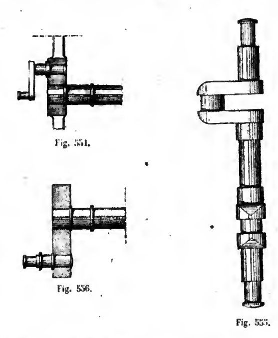

Fig. 554.

Fig. 556.

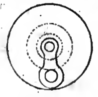
Fig. 555.

Dans les machines à quatre roues couplées du chemin de fer d'Orléans on a rapporté à l'extérieur des fusées des manivelles en fer forgé. Cette disposition était nécessaire à cause de l'emploi du châssis extérieur. Quand le bâti est intérieur, les moyeux des roues servent toujours de manivelles d'accouplement; les boutons sont alors formés quelquefois de deux et même de trois tourillons successifs (fig. 556).

Distribution. — Nous avons indiqué précédemment quelle devait être la marche des tiroirs dans une machine locomotive; nous allons voir maintenant quelles sont les dispositions adoptées pour obtenir ce mouvement.

L'amplitude et la nature du mouvement produit par une bielle et une manivelle dépendent uniquement de la longueur de la bielle et de la distance qui sépare l'axe de l'essieu qui porte la manivelle

de celui de son bouton. On ne changera donc rien à ce mouvement, quelque diamètre que l'on donne au bouton de manivelle. Concevons que ce diamètre aille continuellement en augmentant (fig. 557) jusqu'à ce que le bouton de manivelle entoure complétement l'essieu, et nous aurons l'appareil connu sous le nom d'*excentrique*.


Fig. 557.

Un excentrique consiste en un disque circulaire en métal percé d'une ouverture également circulaire dans laquelle vient se fixer l'essieu moteur. Le centre de l'ouverture est placé à une distance de celui du disque égale à la moitié de la course rectiligne qu'on

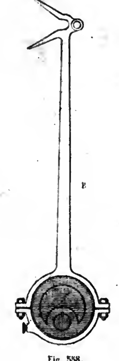



Fig. 558.

A

Fig. 559.

veut obtenir. Cette longueur s'appelle *excentricité*. Ce disque est

entouré d'un *anneau* (fig. 558 et 559) qui représente la tête d'une longue bielle B ; ce sont le *collier* et la *barre d'excentrique*. Si maintenant nous supposons cette barre articulée par son extrémité sur la tige du tiroir, si, de plus, nous imprimons à l'essieu un mouvement de rotation autour de son axe, le tiroir prendra un mouvement de va-et-vient rectiligne analogue à celui du piston. *Si la longueur de la barre d'excentrique, mesurée du centre du disque à l'axe de l'articulation de la tige du tiroir, est au moins égale à dix fois l'excentricité, on peut admettre sans erreur sensible que le mouvement du tiroir est le même que celui de la projection du centre de l'excentrique sur la ligne droite qui réunit le centre de l'excentrique à celui de l'articulation de la tige*, pourvu que cette tige soit dans le prolongement de cette droite. C'est en admettant l'exactitude de ce fait que nous allons raisonner dans toutes les considérations qui vont suivre.

On appelle grand *rayon de l'excentrique* la ligne qui part du centre de l'essieu et va rejoindre la circonférence en passant par son centre.

Soit *c* (fig. 560) le centre de l'essieu, *cb* l'excentricité qui, pro-

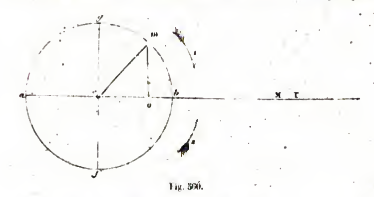


Fig. 560.

longée, viendrait se confondre avec l'axe de la tige du tiroir situé à l'avant du côté de T. Quand le grand rayon occupera la position *b*, le tiroir sera à l'extrémité antérieure de sa course; quand il sera en *ca*, il sera à l'autre extrémité de cette course; enfin il occupera sa position moyenne quand le grand rayon sera en *cf* ou *cg* per-

pendiculaires à *ab*. Toutes les positions intermédiaires *o* du tiroir s'obtiendront aisément en abaissant de l'extrémité du rayon correspondant *cm* une perpendiculaire sur *ab*.

La machine avancera quand l'essieu tournera dans le sens de la flèche 1 ; elle reculera quand le mouvement de cet essieu se fera comme l'indique la flèche 2. Supposons maintenant le piston arrivé à bout de course du côté de l'avant de la machine, la manivelle sera à son point mort en *c* M ; mais le tiroir occupera sa position moyenne, le grand rayon sera donc sur *fg*. Il devra commencer par reculer comme le fait le piston; donc, si l'on marche en avant (flèche 1), le grand rayon sera en *cf;* si l'on marche en arrière, il sera en *cg*. On en conclut que *le grand rayon de l'excentrique doit toujours précéder de 90° la manivelle, quel que soit le sens de la marche*[1]. En raisonnant de la même manière pour toutes les positions de la manivelle, on voit que pour chacune d'entre elles le centre de l'excentrique doit se trouver à l'une ou l'autre des extrémités du diamètre perpendiculaire à sa direction, suivant que le mécanisme est disposé pour la marche en avant ou la marche en arrière.

Afin de pouvoir obtenir à volonté l'un ou l'autre de ces mouvements, l'on a d'abord imaginé de ne pas fixer l'excentrique invariablement sur l'essieu, mais bien de le faire entraîner par un manchon d'embrayage à deux dents diamétralement opposées. La machine étant en marche, si l'on débrayait à un instant donné le manchon, l'essieu continuait à tourner, mais l'excentrique restait fixe; si l'on embrayait de nouveau avant que l'essieu eût fait une demi-révolution, l'excentrique se trouvait dans une position diamétralement opposée à celle qu'il occupait et était de nouveau entraîné dans le mouvement de rotation de l'essieu. Cet appareil, quoique fort simple, fonctionnait mal, parce qu'il arrivait fré-

[1] Cette règle n'est pas générale ; elle ne s'applique qu'au cas où la transmission du mouvement se fait directement à la tige du tiroir. Si au contraire (fig. 561) la barre d'excentrique TT s'articulait en *a* sur un levier dont *o* serait le point fixe, tandis que la tige du tiroir serait conduite par la branche *ob* de ce levier, ce serait au contraire la manivelle qui précéderait le grand rayon de l'excentrique.

Fig 561.

quemment que l'essieu faisait plusieurs tours avant de rembrayer; aussi est-il complétement abandonné. On a été conduit dès lors à remplacer l'articulation ordinaire sur la tige du tiroir par un embrayage au moyen de fourches terminant les barres d'excentriques.

La figure 562 représente un mécanisme de ce genre fort simple. La tige du tiroir *tt* est mise en mouvement par la manivelle

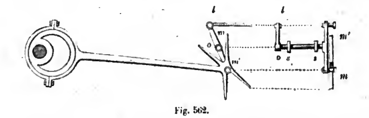


Fig. 562.

to, fixée sur l'arbre *oo*, qui est porté par deux petits supports ou paliers *ss*, fixés sur le bâti de la machine. L'autre extrémité de l'arbre est munie d'une double manivelle *mm'*, portant les deux boutons *m* et *m'*. La barre d'excentrique est terminée par une double fourchette qui embrasse l'un ou l'autre des deux boutons *m* ou *m'*. Si l'on se reporte à la *note* de la page précédente, on comprendra aisément que l'on obtienne le changement de marche désiré en abaissant ou relevant la barre d'excentrique.

L'essieu moteur reste toujours à une distance constante de la surface du rail, tandis que le bâti, et avec lui les tiroirs, oscille verticalement. Ce mouvement, qui fait varier à chaque instant la position du tiroir, par rapport à l'axe de l'essieu moteur, amène inévitablement des perturbations dans la marche du tiroir. Ces perturbations sont peu sensibles quand la barre d'excentrique est horizontale; mais elles acquièrent une influence d'autant plus grande que cette barre s'écarte davantage de la position horizontale. Dans l'appareil qui nous occupe on est obligé de prendre cette horizontale pour position moyenne de la barre d'excentrique entre les deux mannetons, afin que l'influence des oscillations verticales de la machine ne se fasse pas plus sentir sur la marche en avant que sur la marche en arrière; il en résulte que ni l'une ni l'autre ne se trouvent dans des conditions satisfaisantes. De plus, ce mécanisme

ne se prête que très-imparfaitement aux modifications de la distribution qu'on a reconnues nécessaires; aussi est-il complétement abandonné.

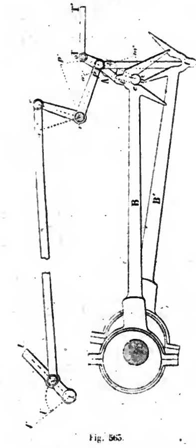


Fig. 565.

Aujourd'hui on emploie pour chaque tiroir deux excentriques qui commandent la distribution, l'un quand la machine marche en avant (*excentrique de la marche en avant*), l'autre quand la machine recule (*excentrique de la marche en arrière*).

Il existe une infinité de dispositions à deux excentriques; nous allons décrire les deux plus simples parmi ces mécanismes.

Dans la figure 565 TT' représentent la tige du tiroir. Elle est articulée sur la manivelle AT, qui elle-même est fixée sur le petit arbre A, dont les supports font partie du bâti de la machine. La manivelle Am, montée à l'extrémité de ce même arbre A, porte un double manneton mm' qui fait saillie des deux côtés de la manivelle.

Les barres B et B' des deux excentriques sont terminées par deux fourches ou *pieds de biche* disposés de manière à pouvoir embrasser, l'une le manneton *m*, l'autre le manneton *m'*, qui fait saillie de l'autre côté de la manivelle.

Quand l'une des fourches est *embrayée* ou *enclenchée*, c'est-à-dire quand le fond de l'entaille semi-circulaire qui existe à la rencontre des deux bras de la fourche repose sur le manneton, l'autre

fourche est parfaitement libre; elle exécute le mouvement que lui imprime l'excentrique qui la commande sans venir rencontrer le manneton auquel elle correspond.

Les excentriques étant *calés*, c'est-à-dire fixés sur l'essieu moteur, de manière à faire prendre au tiroir le mouvement convenable, l'un pour la marche en avant, l'autre pour la marche en arrière, on voit, par la simple inspection de la figure 563, qu'il suffit d'abaisser ou de relever simultanément les deux barres B et B' pour opérer le changement de marche.

Il faut que le mécanicien puisse manœuvrer depuis sa plate-forme l'appareil que nous venons de décrire. A cet effet, les deux fourches sont suspendues à l'extrémité de la manivelle *rp* au moyen de deux petites bielles *pt*, *pt'*. L'arbre *r*, appelé *arbre de relevage*, porte, outre la manivelle *rp*, une seconde manivelle *rs*; il est monté sur deux supports fixés sur le bâti de la machine. Une grande *tringle* ou *bielle de changement de marche sv* est articulée d'une part en *s* sur la manivelle *rs*, d'autre part en *v* sur le levier *lk*, dit *levier de changement de marche*. Ce levier, dont l'axe de rotation *k* est fixé sur le bâti de la machine ou sur la chaudière, est à la portée du mécanicien, qui peut lui faire prendre à volonté la position *lk* ou *l'k*. Dans la figure 563, toutes les pièces tracées en lignes pleines sont disposées de manière que la distribution se fasse pour la marche en avant; les sommets des articulations sont marqués de lettres sans indice. Le tracé en lignes ponctuées représente la disposition que prendrait le mécanisme si l'on changeait la marche, chaque lettre portant le signe ' indique la nouvelle position que cette manœuvre ferait prendre à l'articulation désignée par la même lettre sans indice.

Il y a dans chaque machine deux tiroirs TT', par conséquent deux arbres A, quatre excentriques, et quatre petites bielles pendantes; mais il n'y a qu'un levier de changement de marche *lk*, une bielle *vs*, et un arbre de relevage *r*. Seulement ce dernier porte deux manivelles *rp* parfaitement semblables qui correspondent l'une au cylindre de droite, l'autre à celui de gauche.

Le mécanisme que nous venons de décrire est un des plus simples qui aient été employés dans les anciennes machines; mais il ne

peut être employé que quand les deux excentriques d'un même tiroir sont juxtaposés ou du moins très-rapprochés.

Il existe un grand nombre d'autres dispositions à deux fourches; mais, comme elles sont aujourd'hui complétement abandonnées, nous renverrons à l'intéressante notice de M. Félix Mathias sur la machine la *Rapide* de Sharp-Roberts.

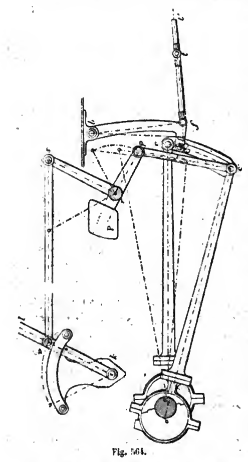


Fig. 564.

On trouvera également dans cet ouvrage la description d'une distribution de Hawthorn, dans laquelle ce constructeur avait supprimé complétement les excentriques et emprunté aux bielles le mouvement du tiroir.

Depuis plusieurs années on emploie presque exclusivement le mécanisme connu sous le nom de *coulisse de changement de marche de Stephenson*, et que la figure 564 représente dans l'une de ses formes les plus simples et les plus récentes.

Les extrémités des deux barres d'excentrique viennent s'articuler en *c* et *c'* sur une *coulisse* en fer évidée. L'entaille de cette coulisse présente deux parois parallèles en arc de cercle entre lesquelles peut glisser un coulisseau *c* en acier trempé. Une fourche *f*, venue de forge au bout du levier *bft*, est réunie au coulisseau au moyen

d'un goujon *g*; le levier suspendu en *b* à un point fixe pris sous la chaudière suit le coulisseau dans le mouvement que lui imprime la coulisse, et entraîne à son tour la tige *tt* du tiroir par l'intermédiaire de la petite bielle *ft* articulée en *t* et en *f*.

Le levier de changement de marche *lk*, agissant par l'intermédiaire de la tringle *vs* et de la manivelle *rs* sur l'arbre de relevage *r*, permet de faire prendre à cet arbre une infinité de positions dont les deux extrêmes sont indiquées, l'une par le tracé en lignes pleines, l'autre par les ponctués de la figure. A chacune de ces positions du levier correspondra une position de la coulisse par rapport au coulisseau ; à cet effet, l'arbre *r* porte deux manivelles projetées en *rp*, qui commandent chacune la coulisse d'un des cylindres par l'intermédiaire de quatre petites *bielles de relevage pc'*. Un *contre-poids* P, fixé au bout du levier P*r* monté sur l'arbre *r*, sert à équilibrer les coulisses et les barres d'excentrique, et facilite ainsi la manœuvre de cet appareil, laquelle serait sans cela très-pénible.

La position qu'occupe à chaque instant le point *c* s'obtient aisément de la manière suivante : du centre *o'* de l'excentrique comme centre, et avec la longueur *o'c'* de la barre comme rayon, on décrit un arc de cercle. Un autre arc décrit de *p* comme centre avec le rayon *pc'* coupera le premier au point *c'* cherché. Connaissant *c'*, on obtiendra *c* à l'intersection de deux autres arcs tracés, l'un de *c'* comme centre avec le rayon *cc'*, l'autre de *o* avec le rayon *oc*. Les points *c* et *c'* suffisent pour déterminer complétement la coulisse. On en déduira aisément la position du tiroir par des constructions analogues.

Quand le point *c* marche d'avant en arrière, le point *c'* marche d'arrière en avant; ces deux mouvements ont la même amplitude. Il en résulte que le point milieu *c''* (fig. 565) de la coulisse reste en repos. Chacun des points intermédiaires entre les points *c'* et *c''* a un mouvement semblable à celui de *c'*, mais d'une amplitude d'autant plus faible qu'il est plus rapproché de *c''*. Nous verrons plus loin quel parti l'on tire de cette propriété de la coulisse; pour le moment, il nous suffira de constater que quand la coulisse est disposée comme l'indique la figure 564, c'est l'excentrique *o* seul qui

commande le tiroir, et que, si l'on manœuvre le levier de changement de marche de manière à amener toutes les pièces du mécanisme dans les positions indiquées en traits ponctués, le tiroir sera mis en mouvement par l'excentrique o'.

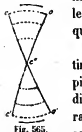


Fig. 565.

De l'avance. — Nous avons admis jusqu'ici que le tiroir se trouvait au milieu de sa course quand le piston était à l'une des extrémités de la sienne. Cette disposition paraît, au premier abord, être la seule rationnelle; cependant on y a renoncé par les raisons que nous allons développer.

Le tiroir venant recouvrir exactement les deux lumières à l'instant où le piston atteint l'extrémité de sa course, il en résulte que, quand le piston commence à marcher en sens inverse de son premier mouvement, les orifices des lumières se découvrent d'une quantité d'abord très-faible. La vapeur qui doit venir presser sur le piston éprouve une résistance considérable à son passage dans cette ouverture de peu de largeur, et, ce qui est plus grave, celle qui doit s'échapper produit une *contre-pression* considérable contre le piston qui la refoule devant lui.

La figure 566 donne une idée assez nette de ce qui se passe dans ce cas. Soient aa'' la course du piston, ac, $a'c'$ les pressions que reçoit ce piston quand il occupe les positions a, a', etc., la figure $aca''c''c'$ représente le travail que le piston reçoit de la vapeur motrice. Si nous reportons à gauche de la figure les *contre-pressions* qui correspondent à chacune des positions du piston, nous aurons une courbe dont la première ordonnée bd sera égale à $a''c''$, et dont les suivantes iront rapidement en décroissant. Cette seconde aire représente le travail négatif de la contre-pression que la vapeur exerce sur le piston en s'échappant. La différence entre les deux aires est alors le travail transmis réellement au mécanisme moteur.

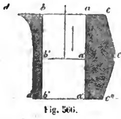


Fig. 566.

Ce qui frappe surtout dans cette figure, c'est la grande valeur de l'ordonnée bd et de ses voisines, qui représentent la contre-

pression dans les premiers instants de la course du piston ; on remarque aussi que l'ordonnée *ac*, qui représente la pression initiale de la vapeur dans le cylindre, va en augmentant jusqu'en un certain point *c'*, puis diminue depuis ce point jusqu'au bout de la course. Cette diminution est sans inconvénient ; quant à l'augmentation de *ac* en *a'c'*, elle se traduit en une dépense inutile de vapeur. En effet, quand le piston est arrivé en *a'*, le cylindre contient un volume *a'b'ab* de vapeur à la pression *a'c'*, tandis que le travail qui a été produit est dû au même volume *a'b'ab* à une pression moyenne entre *ac* et *a'c'* et moindre que *a'c'*.

Si, au moment où le piston arrive à bout de course, les orifices des lumières se trouvaient brusquement découverts d'une quantité suffisante pour ne pas gêner sensiblement le mouvement de la vapeur, les phénomènes dont nous venons de parler n'auraient pas lieu ; mais il ne peut en être ainsi, parce que les excentriques circulaires ne peuvent agir par saccades.

Si l'on cale les excentriques AVEC AVANCE, c'est-à-dire *dans une position telle, que le tiroir ait dépassé le milieu de sa course quand le piston arrive au bout de la sienne*, les lumières seront découvertes avant que le piston commence à rétrograder, et l'action de la vapeur aura lieu comme l'indique la figure 567.

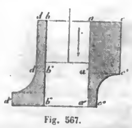


Fig. 567.

Au moment où le piston se met à marcher dans le sens indiqué par la flèche, la vapeur qui a pu s'introduire dans le cylindre par un orifice d'une certaine largeur a atteint une pression sensiblement égale à celle de la chaudière ; elle agit sur le piston et le pousse jusqu'en *a'*, où le tiroir recouvre simultanément les deux lumières. Aussitôt ce point dépassé, la vapeur commence à s'échapper, mais elle continue à presser sur le piston en produisant sur lui un travail de *détente incomplète* jusqu'en *a''c''*, où elle atteint une faible pression qui sera la contre-pression quand le piston rétrogradera. Cette contre-pression *bd*, égale à *a''c''*, reste sensiblement constante jusqu'au point *b'* homologue de *a'*, où la lumière se ferme du côté de l'échappement pour s'ouvrir

du côté de l'admission. La vapeur viendra donc presser de b' en b'' sur le piston en sens inverse du mouvement, effet qui est représenté par le quadrilatère négatif $b'd''$.

Ces deux nouveaux modes d'action de la vapeur s'appellent *échappement anticipé* et *admission anticipée* ou *marche à contre-vapeur*. La quantité dont les lumières se trouvent découvertes quand le piston est à bout de course a reçu le nom d'*avance linéaire à l'introduction* et à l'*échappement ;* enfin l'angle dont il a fallu déplacer les grands rayons des excentriques par rapport à leur calage normal est l'*avance angulaire*.

L'avance linéaire est égale au sinus de l'avance angulaire. La marche à contre-vapeur produit un travail négatif qui diminue l'effort de traction que peut exercer la machine ; mais elle ne constitue pas une perte réelle, car la vapeur qui est introduite sous le piston est refoulée dans la chaudière par le piston et n'est par conséquent pas perdue. On restitue facilement à la machine la puissance qu'elle a perdue en augmentant soit la pression de la vapeur dans la chaudière, soit les dimensions des cylindres, et l'on a en tous cas supprimé l'énorme contre-pression qui agissait sur le piston avant l'adoption de l'avance. La quantité de vapeur dépensée est représentée par le quadrilatère ac'; elle est par conséquent moindre que le volume total engendré par le piston. De plus, le travail représenté en $a'c''$ a été obtenu sans dépense de vapeur aucune ; il constitue donc un profit net.

Recouvrement. — Nous venons de voir que la marche à contre-vapeur forçait à donner aux cylindres de plus grandes dimensions ou à augmenter la pression de la vapeur. Tout en conservant l'avance à l'échappement, il est possible de supprimer celle à l'admission, ou de la diminuer, et voici comment :

Soit $e'f'$ (fig. 568) l'avance à l'échappement d'un tiroir *normal*, c'est-à-dire d'un tiroir dont la longueur extérieure ss' soit égale à l'écartement gg' des parois extérieures des lumières d'introduction L et L, l'avance à l'introduction is de ce tiroir sera égale à $e'f'$.

Mais, si nous prolongeons le tiroir de chaque côté d'une quantité is et $i's'$ égale à gs ou un peu moindre, la lumière d'échappement sera découverte de toute cette quantité avant que celle d'ad-

mission s'ouvre. Outre l'avantage de supprimer le travail à contre-vapeur, cette disposition en produit un autre qui est infiniment plus important. Le rebord *sf* du tiroir étant plus large que la lumière *ge*,

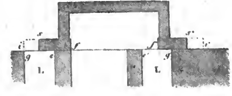


Fig. 568.

pendant que celui-ci parcourt l'espace *is* dans le sens indiqué par la flèche, la vapeur reste emprisonnée dans le cylindre. Le piston, continuant à marcher pendant ce temps, reçoit de la vapeur des pressions qui vont en décroissant en suivant sensiblement la loi de Mariotte[1]. Il en résulte un travail sur le piston sans consommation aucune de vapeur : c'est le travail *de détente*. Les saillies *si* et *s'i'* s'appellent *recouvrement extérieur*.

La figure 569 indique comment agit la vapeur dans un cylindre pour lequel la distribution se fait avec avance et recouvrement extérieur un peu plus faible que l'avance linéaire.

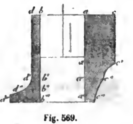


Fig. 569.

Comme il y a un peu d'avance à l'introduction, la pression initiale *ac* dans le cylindre est à peu près celle qui existe dans la chaudière; elle agit jusqu'à ce que le piston soit arrivé en *a'*. A ce moment, le rebord *s* du tiroir venant à rencontrer celui *g* de la lumière, l'admission de la vapeur est interceptée et la vapeur agit par détente jusqu'au point *a''*. Pendant que le piston passe de *a'* en

[1] Suivant cette loi, *les pressions d'une quantité donnée d'un gaz sont inverses des volumes de ce gaz*. Si donc, au moment où le rebord *s* du tiroir rencontre celui *g* de la lumière, le volume de vapeur contenu dans le cylindre est V, sa pression étant *p*, la pression *p'* de ce gaz, quand son volume sera V', se déduira de la proportion suivante :

$$V : V' :: p' : p$$

$$\text{d'où} \quad p' = \frac{V}{V'} p.$$

a'', le tiroir a continué à marcher dans le sens de la flèche, et le point f est venu en e; c'est à ce moment que commence l'échappement anticipé dont le travail sur le piston est représenté par le quadrilatère $a''c'''$. Le poids de la vapeur qui a été représentée est égal au volume engendré par le piston de a en a' multiplié par la densité de cette vapeur à la pression $a'c'$. Sans l'emploi de l'avance et du recouvrement, cette vapeur n'aurait produit qu'un travail ac'; avec ces modifications de la distribution, ce travail est représenté par le polygone ac'''; on a donc tiré de cette vapeur un effet utile bien plus considérable que si l'on avait employé le calage et le tiroir normaux.

Voyons maintenant quel est l'effet produit par ces dispositions sur le travail négatif de la vapeur.

L'échappement ayant commencé avant que le piston soit arrivé à bout de course, la contre-pression bd sera faible; elle se maintiendra à peu près constante jusqu'au moment où le point f sera venu en e (fig. 568). En ce même instant f' se trouvera en e', et l'échappement sera intercepté. Le piston sera obligé de refouler la vapeur devant lui, de la comprimer, ce qui créera un travail analogue à la détente, mais inverse. La *compression* cessera quand le rebord s' coïncidera avec le rebord g', et, à partir de cet instant, il y aura marche à contre-vapeur.

Le rectangle bd' représente le travail de l'échappement, $b'd''$ celui de la compression, et $b''d'''$ celui à contre-vapeur. Nous avons déjà vu que le travail à contre-vapeur n'était pas très-nuisible; celui de la compression peut devenir utile s'il n'est pas trop prolongé.

Nous avons indiqué ce que c'était que le jeu du piston. Cet espace, ainsi que les lumières d'admission, se remplit de vapeur à chaque coup de piston; et cette vapeur n'agit sur le piston que par détente : on l'appelle donc avec raison *espace nuisible*.

La compression, conséquence du recouvrement, crée un travail résistant qui diminue la puissance de la machine; mais en compensation elle remplit l'espace nuisible avec de la vapeur dont la tension atteint ou à peu près celle de la chaudière. Elle évite donc une dépense inutile de vapeur. Trop prolongée, elle devient nuisible en créant un excès de travail résistant sans compensation.

Plus le recouvrement est grand et plus la période de détente acquerra d'importance. L'avance linéaire à l'échappement devant être au moins égale au recouvrement, il en résulte que, si l'on veut commencer à détendre en un point de la course du piston très-rapproché de sa position initiale, on aura nécessairement beaucoup d'avance à l'échappement, ou, ce qui revient au même, la vapeur commencera à s'échapper longtemps avant que le piston soit arrivé à bout de course.

La perte de travail qui résulterait de cet échappement anticipé peut être évitée si l'on donne au tiroir du *recouvrement intérieur* (*ef*, *e'f'*, fig. 570). En analysant, comme nous venons de le faire

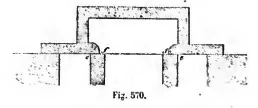


Fig. 570.

pour le recouvrement extérieur, ce qui se passe quand on adopte cette dernière disposition, on verra que la durée de la compression se trouvera augmentée d'une quantité notable; c'est pour cela qu'on évite de donner aux tiroirs un recouvrement intérieur considérable. En général, ce recouvrement n'est que juste suffisant pour que les lumières ne puissent jamais se trouver découvertes simultanément sous le tiroir. Ce n'est guère que pour des avances angulaires de plus de 30° qu'il dépasse $0^m,001$.

En résumé :

Le recouvrement proprement dit ou recouvrement extérieur présente cet avantage que, combiné avec l'avance, il permet de régler l'avance à l'échappement, indépendamment de l'avance à l'introduction, ce qui ne pourrait avoir lieu si on donnait de l'avance au tiroir sans lui donner du recouvrement, car, dans ce cas, l'avance à l'introduction égale forcément l'avance à l'échappement.

L'avance linéaire du tiroir doit être au moins égale au recouvrement extérieur pour qu'il n'y ait pas retard; si elle est plus grande,

on a une avance à contre-vapeur ou à l'introduction égale à la différence.

Cette avance à contre-vapeur ou à l'introduction est nécessaire pour éviter le retard qui pourrait naître du jeu ou de l'usure des pièces, et elle est encore utile en ce qu'elle augmente la pression de la vapeur sur le piston au moment où il commence une nouvelle course. Elle est toujours très-faible en comparaison de l'avance à l'échappement.

Le recouvrement extérieur a encore ce grand avantage d'utiliser une partie du travail de la détente de la vapeur. La détente commence d'autant plus vite et dure par conséquent d'autant plus de temps que le recouvrement est plus long.

L'accroissement de la détente a pour conséquence l'accroissement de la compression.

Elle a aussi pour conséquence, en tant qu'on ne donne pas du recouvrement intérieur, l'accroissement de l'échappement anticipé.

Le recouvrement intérieur permet d'augmenter la détente sans rien changer à l'échappement.

Plus loin, nous donnerons des résultats d'expérience qui fourniront une mesure exacte des avantages de l'avance et du recouvrement, soit extérieur, soit intérieur.

Relations entre l'avance angulaire et le recouvrement. — Il est important de déterminer les relations qui existent entre l'avance angulaire et le recouvrement extérieur et intérieur.

A cet effet, du point *o* situé sur le prolongement de la tige du tiroir (TT) comme centre, et avec un rayon égal à la demi-course de ce tiroir, décrivons un cercle. Cette circonférence représentera le chemin parcouru par le centre d'un excentrique qui commanderait directement le tiroir. Celui-ci occupera sa position moyenne quand le centre de l'excentrique sera en *c* ou *c'* sur la perpendiculaire menée en *o* sur TT. L'avance linéaire de ce tiroir étant *o*A, le grand rayon de l'excentrique devra être en *oa* ou en *oa'* quand le piston sera à l'extrémité de sa course, puisque à cet instant le tiroir devra avoir dépassé le milieu de la sienne de la quantité *o*A. (*Voir* page 480 la définition de l'avance linéaire, et pages 472 et 473 la relation qui existe entre le mouvement de l'excentrique et celui du

tiroir.) L'avance angulaire sera l'angle *c'oa* ou *coa'* de la figure 571. L'avance à l'échappement sera elle-même égale à *o*A diminué du recouvrement intérieur *or* (*fe*, fig. 570).

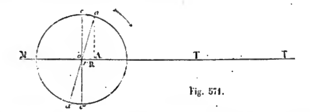


Fig. 571.

On obtiendra l'avance linéaire à l'introduction RA en retranchant de l'avance totale oA le recouvrement extérieur *o*R (ou *si*, fig. 568).

Le mouvement ayant lieu dans le sens indiqué par la flèche, la manivelle se trouvera en son point mort *o*M au moment où le grand rayon de l'excentrique sera en *oa*. En effet, le piston et le tiroir doivent marcher d'abord dans le même sens; ils iront tous deux d'arrière en avant. *Quand donc le tiroir est commandé directement par l'excentrique, le grand rayon doit toujours précéder la manivelle de l'angle de calage normal augmenté de l'angle d'avance.*

Si le tiroir, au lieu d'être mis directement en mouvement par l'excentrique, l'était par l'intermédiaire d'un arbre de distribution, il reculerait quand la barre d'excentrique avancerait, et *vice versa.*

Pour le calage normal, on aurait par conséquent le grand rayon *oa'* quand la manivelle serait en *o*M, et l'angle d'avance serait *a'*, puisque au départ du piston le piston doit avoir dépassé sa position milieu. Ainsi, *quand le tiroir est commandé par l'intermédiaire d'un arbre de distribution, le grand rayon doit suivre la manivelle à une distance angulaire égale à l'angle de calage normal diminué de l'angle d'avance.*

Il est également fort intéressant de connaître, pour chaque position du piston, l'ouverture correspondante du tiroir, soit à l'introduction, soit à l'échappement.

A cet effet, l'on divise la circonférence décrite par le bouton de la manivelle en un nombre pair de parties égales (16, par exemple), en partant de l'un des points morts (fig. 572). De chacune des

divisions comme centre et avec une ouverture de compas égale à la longueur de la bielle, d'axe en axe des tourillons, on décrit un arc de cercle qui vient couper l'axe de la tige du piston, au point où doit se trouver le tourillon de la tête du piston.

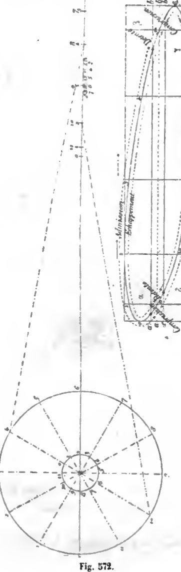


Fig. 572.

On numérote chacune de ces divisions, en prenant pour zéro la position de laquelle on est parti soit pour le cercle, soit pour la droite; puis l'on fait la même opération pour le tiroir en mettant le signe *zéro* aux points où se trouvent l'excentrique et le tiroir, au moment où la manivelle part de son point mort. En d'autres termes, on affecte du même chiffre les positions de la manivelle, du piston, du centre de l'excentrique et du tiroir qui se correspondent. Puis on porte en abscisses sur une ligne droite AB les douze positions du piston, en ordonnées pour chaque point, les distances que le tiroir se trouve avoir parcourues à partir de sa position extrême. Par tous les

points ainsi obtenus, on trace une courbe qui est nécessairement fermée, puisque, quand la manivelle revient à une position par laquelle elle a déjà passé, le tiroir revient à la position qu'il avait occupée à ce premier passage. Si maintenant on trace une parallèle *ab* à AB, à une distance égale à la demi-course du tiroir, cette parallèle viendra couper la courbe en deux points dont les abscisses donneront les positions du piston pour lesquelles le tiroir est au milieu de sa course.

L'admission commence quand le tiroir a dépassé sa position moyenne d'une quantité égale au recouvrement extérieur, et cesse quand le tiroir est revenu à la position où cette admission avait commencé.

On tracera donc des deux côtés de *ab* des parallèles $a'b'$ et $a''b''$, à des distances de *ab* égales au recouvrement extérieur, et l'on obtiendra ainsi deux intersections, α, β, dont la première, α, indique la position du piston à laquelle commence l'admission ; la seconde, β, celle où finit cette admission pour l'une des demi-courses du piston, et deux autres intersections, γ et δ, pour l'autre demi-course.

S'il y a du recouvrement intérieur, deux nouvelles parallèles à *ab* détermineront par leurs intersections avec la courbe les positions du piston où commencent les périodes d'échappement et de compression ; sinon c'est la ligne *ab* qui donne elle-même ces positions.

La courbe que nous venons de tracer représente le mouvement d'un point quelconque du tiroir ; c'est pourquoi elle suffit à elle seule pour déterminer toutes les phases du travail de la vapeur. Nous avons indiqué, sur les lignes ponctuées qui suivent cette courbe, la durée de chacune de ces périodes : admission, détente, échappement et compression. Les indications tracées à l'extérieur correspondent à la face droite, celles de l'intérieur à la face gauche du piston.

Détente variable. — Le travail qu'une machine locomotive doit effectuer est éminemment variable. Le poids du convoi, le profil du chemin, l'état de l'atmosphère et la vitesse de marche sont autant d'éléments qui déterminent ce travail.

Les dimensions des cylindres ne peuvent pas être changées ; si

donc l'effort de traction varie et si les conditions dans lesquelles se fait la distribution restent les mêmes, il faudra faire varier la pression de la vapeur au moyen du régulateur.

Dans les machines sans condensation, comme le sont les locomotives, il est avantageux de marcher à la pression la plus forte possible; c'est ce que l'on reconnaît aisément en remarquant que le travail positif d'une *cylindrée* de vapeur est proportionnel à la pression de cette vapeur; tandis que le travail négatif de cette même cylindrée, qui n'est autre chose que le travail de la contre-pression pendant l'échappement, est sensiblement constant, quelle que soit la pression initiale de la vapeur.

En diminuant l'ouverture du régulateur, on diminue la pression de la vapeur dans les cylindres; on utilise donc cette vapeur moins bien que si l'on marchait avec une ouverture plus grande.

On pourra obtenir la même diminution de l'effort de traction en commençant à détendre plus tôt, et en prolongeant cette détente plus loin; on atteindra ainsi le double but de diminuer l'influence nuisible de la contre-pression et d'utiliser mieux la vapeur admise.

On a essayé depuis quelques années différents appareils destinés à faire varier à volonté la détente. Tous ces appareils peuvent être rangés en deux classes.

Dans la première, ceux où l'on varie la détente en variant la longueur de course des tiroirs;

Dans la seconde, les appareils où l'on produit un effet semblable en se servant d'un double tiroir.

Examinons d'abord comment, en augmentant ou diminuant la course des tiroirs, on peut varier la détente.

Soit *ab* (fig. 573 et 574) la course parcourue par le tiroir, *ac* la demi-course.

Le tiroir étant supposé se mouvoir de gauche à droite, l'admission commencera quand le rebord extérieur du tiroir arrivera sur le bord extérieur de la lumière; elle cessera quand le tiroir, marchant de droite à gauche, sera venu reprendre cette même position.

Or, s'il n'y avait pas de recouvrement extérieur, cela aurait lieu quand le tiroir serait au milieu de sa course en *c;* avec un recou-

vrement extérieur *oc*, il suffira que le tiroir soit arrivé en *o* pour que l'admission commence ou cesse.

Décrivons un cercle sur *ab* comme diamètre ; à chaque position *o* du tiroir correspondront deux positions *m* et *m'* du centre de l'ex-

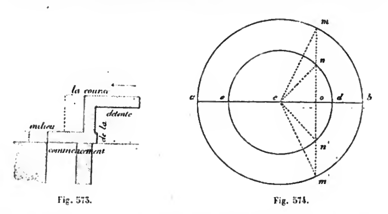


Fig. 573. Fig. 574.

centrique, l'une pour le commencement, l'autre pour la fin de l'admission. L'angle *mcm'* sera l'angle décrit par le centre de l'excentrique ou par la manivelle, pendant la durée de cette admission. Si maintenant nous réduisons la course du tiroir à une longueur *de*, et si sur cette longueur *de* partagée en deux parties égales par le centre *c* du premier cercle, nous en décrivons un second, nous verrons aisément que l'admission n'a plus lieu que pendant que la manivelle parcourt l'angle *ncn'*.

Ainsi, *plus on réduira la course d'un tiroir donné, plus on restreindra la durée de l'admission*, ou, en d'autres termes, *plus on détendra.*

Deux dispositions ont été employées pour faire varier la course du tiroir pendant la marche : celle de certaines machines belges, appelée, du nom de son inventeur, disposition de Cabry, et la coulisse de Stephenson, que nous avons déjà décrite.

Disposition Cabry. — Dans les machines Cabry, le tiroir reçoit le mouvement de l'excentrique par l'intermédiaire d'un levier *lm* (fig. 575) fixé sur un arbre de distribution *n*. Le levier *lm* est percé d'une coulisse rectangulaire dans laquelle vient s'engager le



manneton qui termine la barre d'excentrique de marche en avant. L'espace parcouru par ce manneton étant constant, l'angle qu'il fera décrire au levier *lm* sera d'autant plus grand que le point *m*

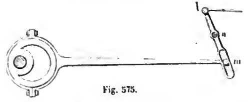


Fig. 575.

sera plus rapproché de l'arbre de distribution *n*; la course du tiroir augmentera donc si l'on relève la barre d'excentrique, et diminuera si l'on abaisse cette barre.

On a prétendu que, dans l'appareil Cabry, l'avance devenait nécessairement plus faible à mesure qu'on diminuait la course du tiroir; nous allons voir qu'il est au contraire possible de faire augmenter cette avance à mesure que l'on détend davantage.

Supposons (fig. 576) la manivelle *oM* horizontale; si le calage est

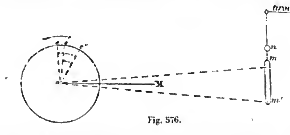


Fig. 576.

normal, le grand rayon de l'excentrique doit être perpendiculaire à *om*, qui est la position de la barre d'excentrique pour laquelle la course est un maximum. Ce grand rayon doit en outre se trouver en *oe* en arrière de la manivelle, puisque le mouvement est transmis indirectement au tiroir. Si l'on donne une avance correspondante à un angle $\alpha = eoe''$, cet angle devra être compté à partir de *oe* et en avant de cette droite dans le sens du mouvement indiqué par la flèche.

Si maintenant nous abaissons la barre d'excentrique en *om'* de manière à diminuer la course du tiroir, la position du grand rayon d'excentrique qui conviendrait au calage normal se trouverait en

oe' perpendiculaire à *om'* et l'avance angulaire ne serait plus que de *e'oe"*. Dans ce cas, l'avance diminue donc à mesure qu'on augmente la détente.

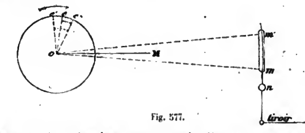


Fig. 577.

Mais, si le mécanisme se trouvait disposé comme dans la figure 577, nous aurions le calage normal pour *om* en *oe*, l'avance angulaire pour cette position de la barre d'excentrique en *eoe"*; et, si nous reportions cette barre d'excentrique en *om'* de manière à diminuer la course du tiroir, le nouveau calage normal serait *oe'*, et l'angle d'avance serait *e'oe"* plus grand que *eoe"*.

C'est donc à tort qu'on a avancé que, dans les machines qui portent le mécanisme de détente variable de Cabry, l'avance diminue nécessairement quand la détente augmente.

Coulisse mobile de Stephenson. — Nous avons vu, page 480, que chacun des points de la coulisse de Stephenson intermédiaire entre les deux extrêmes a un mouvement d'une amplitude d'autant moins grande qu'il est plus rapproché du point milieu de cette coulisse, appelé *point mort*. Il en résulte qu'il suffira d'arrêter le levier de changement de marche dans une position plus ou moins rapprochée du point mort pour que le mouvement transmis au coulisseau, et par conséquent au tiroir, soit plus ou moins restreint. Nous avions supposé les excentriques calés tous deux pour la marche normale; il n'en est rien pour les machines qui portent la coulisse, on leur donne en général une avance de 30°. Les mouvements que l'on obtient ainsi sont plus compliqués; mais ils n'en suivent pas moins la loi que nous venons d'indiquer.

Soit *o*M (fig. 578) la position de la manivelle à son point mort, *oe* la position correspondante du grand rayon de l'excentrique de marche en avant, *oe'* celle de la marche en arrière; soit TT la direc-

tion de la tige du tiroir prolongée; soit enfin cc' la coulisse, ce et $c'e'$ les deux barres d'excentrique. Dans la position indiquée par la figure, c'est l'excentrique de marche en avant qui commande le tiroir; la marche normale correspondrait donc à un calage $o\varepsilon$ perpendiculaire à oc. Si maintenant nous relevons la coulisse en $c''c'''$, le mouvement du tiroir continuera à dépendre essentiellement de celui de l'excentrique e, quoiqu'il soit altéré par e'. Dans cette nouvelle position le calage normal s'obtiendrait en menant $o\varepsilon'$ perpendiculaire à oc''; l'angle d'avance sera donc $\varepsilon'oe$ plus grand que εoe.

Si, tout en conservant les mêmes notations, nous attachons les barres d'excentriques de manière que celui de marche en avant commande le bas de la coulisse, celui de marche en arrière le haut de cette coulisse (fig. 579), nous aurons le calage normal pour la course maxima du tiroir en élevant oE perpendiculaire à oc. Pour diminuer la course du tiroir il faudra abaisser la coulisse en $c''c'''$, par exemple; le nouveau calage normal sera en oE' perpendiculaire

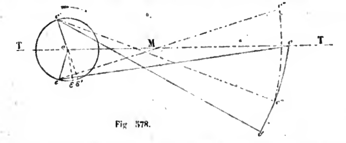


Fig 578.

à oc''. Le nouvel angle d'avance ne sera plus que eoE' plus petit que eoE.

Les choses se passent de même pour la marche en arrière, ce dont on s'assure aisément en répétant les raisonnements par lesquels nous venons de passer; on en conclut donc la propriété suivante de la coulisse de Stephenson :

Si l'excentrique de marche en avant commande le haut de la coulisse, l'avance angulaire augmente quand on augmente la détente.

Si l'excentrique de marche en avant commande le bas de la coulisse, l'avance angulaire diminue quand on augmente la détente.

Si l'on étudie la marche relative du piston et du tiroir au moyen de courbes analogues à celles dont nous avons indiqué la construction, on est conduit aux conclusions suivantes :

En diminuant la course des tiroirs, on diminue la longueur des orifices par lesquels la vapeur s'introduit dans le cylindre et s'en échappe.

Il en résulte une diminution notable de la pression de la vapeur qui agit sur les pistons, par conséquent aussi une diminution dans l'effet utile de cette vapeur.

Si l'on dispose le tiroir de manière que l'avance soit la même pour les deux points morts de la manivelle, les ouvertures maxima des lumières ne seront pas les mêmes pour les deux faces du piston, et l'échappement ne sera pas régulier, c'est-à-dire que les deux positions de la manivelle pour lesquelles commence l'échappement

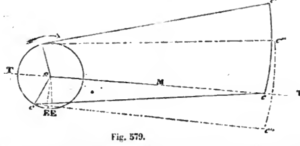


Fig. 579.

ne seront pas situées sur une même ligne droite passant par l'essieu moteur.

Si au contraire on règle le tiroir de manière que l'ouverture des lumières soit la même pour les deux faces du piston, l'échappement sera sensiblement régulier; mais l'avance ne sera plus la même pour les deux côtés.

Ces irrégularités sont dues à ce que le point c' (fig. 578 et 579), par lequel la coulisse est suspendue à l'arbre de relevage, décrit un arc de cercle au lieu de se mouvoir sur une ligne droite, de sorte que le coulisseau ne conserve pas une position invariable dans la coulisse pendant un tour de roue entier. Si le coulisseau pouvait être fixé d'une manière simple en un point quelconque de la coulisse, ce défaut de l'appareil disparaîtrait.

Le calage des deux excentriques étant le même et la barre de marche en avant étant attachée au haut de la coulisse, l'avance linéaire augmente en même temps que la détente. Il en résulte que plus on détend, plus on prolonge la marche à contre-vapeur. L'échappement commence aussi plus tôt, de sorte que le travail de la détente est perdu en partie. Enfin l'on augmente la durée de la période de compression.

Si l'on attache la barre d'excentrique de marche en avant au bas de la coulisse, l'avance linéaire diminue à mesure que la détente augmente.

L'échappement commence plus tard, ainsi que la marche à contre-vapeur; et la durée de la compression diminue. Mais, d'un autre côté, on est exposé à avoir du retard à l'admission quand on détend beaucoup, et, comme la marche en forte détente est la plus avantageuse, on préfère généralement attacher la barre d'excentrique de marche en avant au haut de la coulisse.

On peut corriger en partie les défauts de cet appareil de détente en sacrifiant la marche en arrière, qu'on emploie rarement, à la marche en avant. C'est ce que M. Polonceau a fait avec succès dans plusieurs machines du chemin de fer d'Orléans, dans lesquelles il a augmenté l'avance angulaire de la marche en avant aux dépens de celle de la marche en arrière.

Fig. 380.

Coulisse fixe. — Sur un grand nombre de chemins on a adopté

depuis quelque temps la coulisse de Stephenson, modifiée comme l'indique la figure 580.

Dans cette disposition, la tige du tiroir est guidée par de petites glissières et articulée à une bielle *b* d'une grande longueur qui porte le coulisseau. La coulisse présente sa concavité vers l'avant de la machine et est tracée avec un rayon égal à la bielle *b*; elle est suspendue au moyen d'une bielle *b'* à un point fixe pris sur la chaudière ou sur le châssis. On effectue le changement de marche et l'on varie la détente en faisant descendre ou monter le coulisseau dans la coulisse.

Il est aisé de voir que, dans ce cas, l'avance ne varie pas avec le degré de la détente, pourvu que l'angle de calage et la longueur des bielles soient les mêmes pour les deux excentriques.

Afin de remédier en même temps à l'autre vice capital de la coulisse Stephenson, savoir au rétrécissement de l'ouverture des lumières quand on marche en grande détente, on a imaginé la disposition suivante.

Le tiroir T (fig. 581) est un bloc prismatique dressé sur sa face

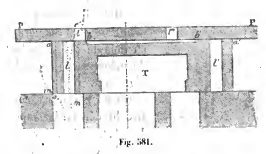


Fig. 581.

inférieure et sur les positions *ab*, *a'b'* de sa face supérieure. Une plaque PP, également dressée, repose sur cette face supérieure et reste fixe pendant que le tiroir exécute son mouvement.

Les rebords du tiroir et la plaque sont percés de lumières *l*,*l'*,*l''* et *l'''*, disposées de telle façon, que, quand le rebord *m* du tiroir est sur le point de découvrir celui *c* de la table, le bord *m* de la lumière *l* coïncide également avec celui *c'* de la plaque supérieure. On conçoit aisément que, si la lumière est ouverte de 6 millimètres

en *c*, elle le sera de la même quantité en *c'* : les passages par lesquels la vapeur se rend dans les cylindres sont donc doublés.

Il est nécessaire, pour régler convenablement la marche des locomotives, de se rendre un compte exact des effets des déplacements de la coulisse, de sa longueur et de sa courbure sur le jeu des tiroirs. C'est ce que l'on fait dans les ateliers au moyen d'un appareil fort simple décrit dans le *Guide du mécanicien*. M. Philips, ingénieur des mines et du matériel du chemin de l'Ouest, est arrivé aux mêmes résultats par le calcul.

Ce calcul l'a conduit à établir une série de principes que la pratique confirme, et que nous indiquerons dans le chapitre consacré à la théorie.

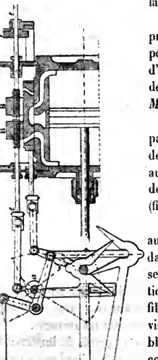


Fig. 582.

Détentes à deux tiroirs. — On a proposé différentes dispositions pour faire varier la détente au moyen d'appareils distincts des tiroirs. Les deux principaux sont le *système Meyer* et le *système Gonzenbach*.

Système Meyer. — Dans cet appareil le tiroir est prolongé à ses deux bouts de manière à présenter au delà de ses rebords deux trous de même section que les lumières (fig. 582).

Quand ces trous correspondent aux lumières, la vapeur pénètre dans le cylindre. Sur ce tiroir reposent deux tasseaux ou blocs prismatiques BB emmanchés sur une tige filetée *t*. Les pas des portions de vis qui entrent dans chacun des blocs sont en sens inverse; la tige reçoit le mouvement de la tige du piston par l'intermédiaire d'un petit arbre de distribution *a*, qui porte deux manivelles; elle marche donc en sens inverse du piston.

Dans la première partie de la course du piston le tiroir et les blocs marchent dans un sens inverse.

Si, avant que le piston soit arrivé au bout de sa course, un des blocs vient à recouvrir le trou du tiroir qui admet la vapeur dans le cylindre, et s'il ne découvre pas cette lumière avant que le piston ait achevé sa course, la vapeur agira par détente à partir du moment où le passage aura été intercepté.

Le bloc qui doit intercepter l'admission se trouvant placé entre les deux trous du tiroir au départ du piston, le trou et le bloc iront d'abord à la rencontre l'un de l'autre et se superposeront si leurs positions initiales et leurs courses sont convenablement calculées.

Dans la seconde période de leur mouvement ils marcheront dans le même sens; mais, comme leur mouvement ne sera pas le même, leur position relative changera encore et pourra toujours donner lieu à une superposition si celle-ci n'a pas eu lieu dans la première période.

Le mouvement du tiroir et celui des blocs sont invariables; il en résulte que les rebords extérieurs des trous du tiroir et du bloc se rencontreront d'autant plus vite que les blocs seront plus écartés. Le mécanicien fait varier cet écartement, et par conséquent le point où commence la détente, en tournant la tige filetée des blocs au moyen d'une manivelle, d'arbres et de roues dentées. L'une de ces roues *r* est montée sur la tige filetée, mais elle ne la suit pas dans son mouvement de va-et-vient; elle glisse à frottement doux sur cette tige et l'entraîne dans le mouvement de rotation que lui imprime le mécanicien, au moyen d'une languette qui pénètre dans une rainure.

La détente Meyer présente de nombreux avantages sur celle de Stephenson que nous venons de décrire.

La marche du tiroir étant la même dans toutes les positions des blocs sur leurs tiges, les orifices présentent toujours la même section, quel que soit le degré de détente auquel on marche. L'avance à contre-vapeur ne varie pas, non plus que l'avance à l'échappement; on peut donc se régler une fois pour toutes, de manière qu'elles se trouvent dans les meilleures conditions possibles.

Enfin la compression, qui, dans ces appareils à courses variables,

croît si rapidement avec la détente, reste constamment la même et peut être réduite à la limite à laquelle elle cesse d'être utile.

Cependant la détente Meyer est complétement abandonnée en France à cause de la complication de ses organes, des nombreuses réparations qu'elle nécessite, et enfin du frottement considérable qui résulte du glissement des blocs sur le tiroir. En Autriche, cet appareil est toujours en faveur; seulement les blocs ne sont plus mis en mouvement par la crosse du piston, mais par un troisième excentrique[1].

[1] On se rendra aisément compte de la manière dont agit la détente Meyer en construisant deux courbes, l'une indiquant la marche du tiroir, l'autre celle des blocs, par rapport au piston (fig. 583). Plaçant les origines des deux courbes $a - a'$ à une distance égale à celle qui sépare l'arête extérieure du bloc de l'arête extérieure de l'ori-

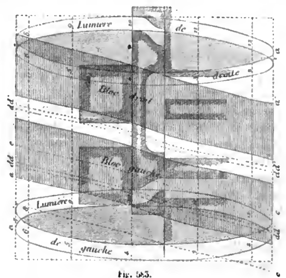


Fig. 583.

fice du tiroir au moment où le piston est à bout de course, on verra que les deux arêtes vont à la rencontre l'une de l'autre, se croisent en se dépassant, se rapprochent de nouveau, puis se croisent une seconde fois. Pour que la détente se fasse d'une manière utile, il faut :

1° Que le second croisement des deux arêtes n'ait pas lieu avant que le piston soit arrivé à l'autre bout de sa course; sans quoi on aurait dépensé une cylindrée entière de vapeur sans que celle-ci ait agi sur le piston autrement que par détente pendant que l'admission aurait été interceptée;

Systèmes Gonzenbach et Delpèche. — Dans ces deux systèmes le tiroir proprement dit est absolument semblable aux tiroirs ordinaires. La vapeur est d'abord admise dans une première boîte à vapeur B (fig. 584), qui communique avec la seconde B' par deux

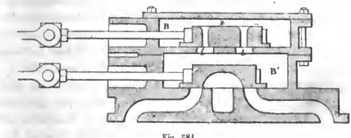


Fig. 584.

lumières *l*,*l*. Un second tiroir *t*, analogue à celui du système Meyer, glissant sur la table qui porte ces orifices, livre passage à la vapeur ou intercepte ce passage suivant que ses orifices recouvrent ou non

2° Que l'arête intérieure du bloc ne dépasse jamais l'arête intérieure de l'orifice du tiroir, sans quoi la vapeur serait également réadmise avant que le piston ait terminé sa course. — Pour remplir cette dernière condition, il faut que la largeur du bloc soit au moins égale à celle de l'orifice du tiroir augmentée de la quantité maxima dont les deux arêtes extérieures se dépassent, laquelle se mesure par l'écartement maximum des deux courbes *bb*. On voit du reste que, plus on détend, plus cette largeur est grande.

L'étude de ces courbes montre, en outre :

1° Que les pas des deux vis qui servent à écarter ou à rapprocher les blocs ne doivent pas être les mêmes si l'on veut que la détente soit constamment la même pour les deux faces du piston. Ceci résulte de ce que les espaces parcourus par le piston ne sont pas symétriques des deux côtés du milieu de sa course, tandis que la marche du tiroir, dont la bielle est fort longue par rapport à l'excentricité, est presque la même que celle de la projection du centre de l'excentrique ;

2° Que par la même raison la largeur minima à donner aux deux blocs n'est pas non plus la même ;

3° Que pour une course donnée des blocs il y a une détente maxima *cc*. Si l'on veut détendre plus que ce maximum, l'orifice se découvre en arrière avant que le piston soit arrivé à bout de course et l'on dépense en pure perte toute la vapeur qui aurait été admise utilement pendant la période de détente si l'admission n'avait pas été interceptée ;

4° Que pour une course donnée des blocs il y a également une détente minima *dd'* ; si l'on veut détendre moins que ce minimum, l'orifice se découvre de nouveau avant que le piston soit arrivé à bout de course, et la dépense de vapeur se trouve être la même que si l'on n'avait pas détendu *dd'* ;

5° Que les portions de course du piston pendant lesquelles les blocs rétrécissent les orifices du tiroir sont fort courtes, de sorte que la vapeur est fort peu gênée dans son mouvement.

ceux de la table. Ce tiroir est mis en mouvement par l'excentrique de marche en arrière ; il n'agit que quand la machine marche en avant. En variant sa course au moyen d'une coulisse analogue à celle de Cabry (fig. 575), on fait varier la détente.

L'appareil de M. Delpèche ne diffère de celui de M. Gonzenbach que par la forme de la coulisse, qui permet de ne pas détendre du tout ; cette modification avait été reconnue nécessaire à cause de la difficulté qu'on éprouvait à démarrer avec l'appareil primitif dans certaines positions de la manivelle.

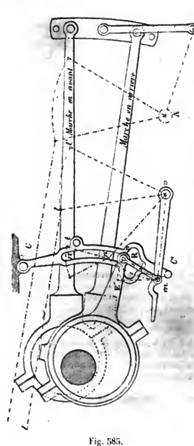


Fig. 585.

Cette coulisse CC' (fig. 585) est suspendue par un point fixe C sous la chaudière ; elle oscille autour de ce point fixe, entraînée par la barre d'excentrique E'', dont le collier est monté sur une poulie d'excentrique parfaitement semblable à celle de la marche en arrière. Le tiroir auxiliaire étant mis en mouvement par le point *t* de la coulisse, il suffit de faire varier l'amplitude de la course de cette coulisse pour produire le même effet sur le tiroir de détente. Dans ce cas l'arbre manœuvré depuis la plate-forme du mécanicien par une bielle *ll* et une manivelle *lv* porte une seconde manivelle *mv*, reliée à l'extrémité de la barre d'excentrique E'' au moyen de la petite bielle ***mn***. En faisant parcourir au point *l* l'arc *ll'* on fera parcourir au point *m* l'arc *mm'*, et l'on fera passer l'extrémité de la barre E'' de *n* et *n'*. Si l'on amène le bou-

ton *n* dans la partie R de la coulisse où celle-ci s'élargit tout à coup, la barre E″ exécutera son mouvement sans entraîner la coulisse, et celle-ci, restant immobile, ne produira plus de détente. Le tiroir principal est mis en mouvement par une coulisse ordinaire commandée par un arbre de relevage A et un levier de changement de marche.

Ces appareils sont aujourd'hui abandonnés, parce qu'ils étaient sujets à se déranger et parce que la seconde boîte à vapeur rendait difficile la visite du tiroir principal. Ils avaient sur l'appareil Meyer l'avantage d'être plus simples et de pouvoir s'appliquer aux anciennes machines en se bornant à modifier légèrement la boîte à vapeur; mais ils lui étaient inférieurs sous le rapport théorique, parce que la vapeur se détendait aussi bien dans la seconde boîte que dans le cylindre, et qu'ainsi une partie de son travail mécanique était perdue. Nous avons cru devoir nous étendre aussi longuement sur les systèmes de détente à deux tiroirs, parce que seuls ils utilisent convenablement la vapeur. Chaque jour les exigences du service forcent à augmenter la puissance des machines; pour cela on augmente la production de vapeur au moyen de surfaces de chauffe énormes, et les appareils atteignent des poids de plus en plus considérables. Ne serait-il pas avantageux de chercher une partie de cette augmentation de puissance dans un emploi plus rationnel de la vapeur? Plus loin nous décrirons une nouvelle disposition adoptée depuis peu de temps par M. Polonceau.

Excentriques. — Les excentriques des machines locomotives sont en fonte. Ils portent deux joues qui présentent une faible saillie sur la circonférence de l'excentrique. Dans cette espèce de gorge vient se loger le collier d'excentrique, sorte de bague en bronze faite en deux morceaux assemblés à boulons. Quelquefois le collier est en fer; dans ce cas l'une de ses moitiés est alors venue de forge avec la barre d'excentrique (fig. 558 B); quand le collier est en bronze, la barre est assemblée comme l'indique la figure 559 A. Quelquefois c'est le collier qui porte une gorge dans laquelle vient s'engager l'excentrique (fig. 586). Généralement les deux excentriques d'un même tiroir sont fondus ensemble; mais presque toujours on est obligé de les composer de deux parties réunies par des



boulons *bb*, logés dans la fonte et serrés au moyen de clavettes *cc* (fig. 587). L'excentrique est fixé sur l'arbre moteur par le moyen de clavettes *d;* autrefois on se servait de vis de serrage; mais elles sont insuffisantes.

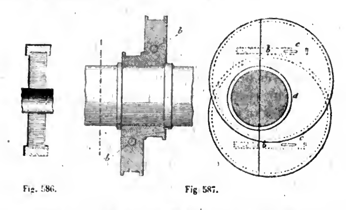


Fig. 586. Fig 587.

Dans les anciennes distributions, les fourchettes étaient venues de forge avec les barres; elles devaient être assez évasées pour rencontrer le manneton de l'arbre de distribution dans toutes leurs positions. Actuellement on termine ces barres par une simple chape qui vient embrasser l'extrémité de la coulisse.

Les arbres de distribution et de relevage sont en fer d'une seule pièce avec toutes leurs manivelles. Les autres pièces de transmission sont également en fer.

Coulisse. — Nous avons déjà représenté, page 478, une disposition de coulisse, dite coulisse simple. On en emploie quelquefois une autre appelée coulisse double. La tige du tiroir est fixée sur un étrier au moyen de deux écrous qui permettent de régler avec facilité la longueur de cette tige. L'étrier est articulé sur une pièce appelée guide carré, laquelle est dirigée dans son mouvement rectiligne par un support fixé sur le bâti de la machine. L'autre extrémité du guide carré porte un tourillon sur lequel sont emmanchés deux petits coulisseaux en acier qui glissent chacun dans la rainure d'une des parties de la coulisse. Généralement la coulisse double est suspendue à l'arbre de relevage vers le milieu de sa hauteur.

Levier de changement de marche (fig. 588 et 589). — Le levier de changement de marche le plus généralement adopté est représenté fig. 589. Il est entièrement en fer forgé; son point fixe

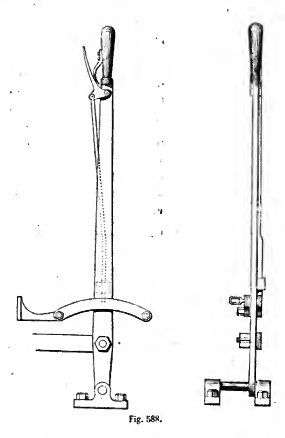
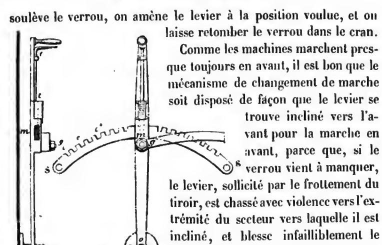


Fig. 588.

o est pris tantôt sur la chaudière, tantôt sur le bâti de la machine. Il porte une mortaise *m*, dans laquelle pénètrent le secteur SS et une petite tringle *tt* appelée verrou, sollicitée par un ressort à se loger dans les crans *cc'c''* de ce secteur. Le secteur est attaché, comme le point fixe, sur la chaudière ou sur le bâti; la grande tringle ou bielle de changement de marche est articulée sur le goujon *g*.

Quand on veut changer la marche ou faire varier la détente, on

soulève le verrou, on amène le levier à la position voulue, et on laisse retomber le verrou dans le cran.


Fig. 589.

Comme les machines marchent presque toujours en avant, il est bon que le mécanisme de changement de marche soit disposé de façon que le levier se trouve incliné vers l'avant pour la marche en avant, parce que, si le verrou vient à manquer, le levier, sollicité par le frottement du tiroir, est chassé avec violence vers l'extrémité du secteur vers laquelle il est incliné, et blesse infailliblement le mécanicien s'il se trouve à sa portée.

Fig. 590.

Fig. 591.

Pompes alimentaires. — Nous avons vu précédemment que les pompes alimentaires sont mues, tantôt directement par la crosse du piston, tantôt par l'excentrique de marche en arrière.

Les pompes alimentaires mues directement par la crosse du piston comprennent :

1° Un plongeur (fig. 591) en acier ou en fer recouvert d'une feuille de cuivre de 0m,04 à 0m,03 de diamètre, fixé sur la crosse du piston parallèlement à la tige de celui-ci. Ce plongeur traverse un presse-étoupes E, qui forme obturation au dehors.

2° Un corps de pompe en bronze ou en fonte dans lequel se meut le plongeur (fig. 590). Le diamètre intérieur de ce corps de pompe est un peu plus grand que celui du plongeur, afin que celui-ci puisse s'y mouvoir librement. Le corps de pompe est fixé sur le châssis de la machine ou sur le support des glissières.

3° Trois soupapes ordinairement à boulet et leurs chapelles. La soupape S s'ouvre de dehors en dedans du cylindre, elle sert à l'aspiration. Les soupapes S'S'' s'ouvrent de dedans en dehors ; elles servent au refoulement. Une seule d'entre elles serait nécessaire ; mais, comme elles sont sujettes à se déranger, on en met deux pour plus de sûreté.

4° Deux tuyaux en cuivre rouge appelés, l'un, tuyau d'aspiration, T ; l'autre, tuyau de refoulement, T' [1].

Le premier part de la chapelle d'aspiration et se rend au réservoir d'eau du tender. Comme la position du tender varie par rapport à celle de la machine, une partie de ce tuyau d'aspiration doit être flexible.

Le second sort de la chapelle de refoulement et aboutit au robinet de retenue, fixé sur la chaudière et généralement près de la boîte à fumée.

Ce robinet sert à intercepter la communication de la chaudière avec la pompe quand celle-ci vient à se déranger. Souvent la seconde chapelle de refoulement fait suite au robinet de retenue, de sorte que le tuyau de refoulement est interposé entre les deux chapelles de refoulement. Cette disposition est très-convenable ; quand elle n'existe pas, il arrive fréquemment que, le tuyau de refoulement venant à crever, on éprouve beaucoup de difficulté à fermer le robinet de retenue, à cause de l'eau bouillante projetée ; alors la chaudière se vide rapidement.

[1] Dans quelques anciennes machines de Stephenson le tuyau de refoulement aboutissait au foyer. Cette disposition était vicieuse, parce que l'eau froide d'alimentation qui venait frapper le foyer, dont les parois sont toujours à une température élevée, *saisissait* ces parois et occasionnait ainsi des fuites nombreuses.

Entre les deux soupapes de refoulement se trouve une tubulure d'où part un petit tuyau muni d'un robinet que le mécanicien manœuvre de sa plate-forme. En ouvrant ce robinet, on permet à l'air contenu dans le corps de pompe de se dégager, et l'on voit que la pompe fonctionne quand le jet intermittent qui s'en échappe est bien franc et quand ses pulsations coïncident avec celles de la pompe.

Les pompes mues par les excentriques ne diffèrent des précédentes que par le diamètre et la course du plongeur (fig. 592). On

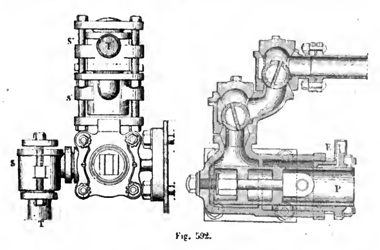


Fig. 592.

les fixe quelquefois au châssis; plus généralement à la chaudière, contre la paroi antérieure de la boîte à feu.

Quelques constructeurs placent sur les machines locomotives une petite machine à vapeur spéciale qui met en mouvement une pompe alimentaire. Cette disposition est plus particulièrement appliquée aux machines à marchandises, qui sont souvent obligées de stationner fort longtemps sur les voies de garage pour attendre le passage des trains à voyageurs. Nous pensons qu'il conviendrait d'en étendre l'emploi aux machines à voyageurs.

Au chemin de Strasbourg on a reconnu que, les pompes étant placées à l'extérieur, l'eau, au moment des grands froids, était exposée à geler, et on les a transportées à l'intérieur.

DU TRAIN.

Le train se compose essentiellement :

1° Du châssis avec ses accessoires, tels que chasse-pierres, attelages, plate-forme ;

2° Des roues ;

3° Des boîtes à graisse et ressorts.

Châssis. — Que le châssis soit intérieur ou qu'il soit extérieur, il se compose toujours essentiellement de deux *longerons* réunis par des *traverses*.

Dans les châssis intérieurs (fig. 593), les longerons L sont ordinairement de fortes barres de fer de 0^{m},20 de largeur, sur 0^{m},03 d'épaisseur, terminées à leurs deux extrémités par des pattes venues de forge sur lesquelles on boulonne les traverses TT en bois. Les plaques de garde, dont les fonctions sont les mêmes que dans les waggons, sont généralement doubles ; elles se composent de deux plaques en tôle de 0^{m},012 à 0^{m},015 d'épaisseur, fixées de part et d'autre au longeron au moyen de rivets qui traversent les trois épaisseurs. Quelquefois on ne met qu'une plaque de garde, qui alors a de 0^{m},017 à 0^{m},020 d'épaisseur ; enfin il existe même des châssis dans lesquels ces plaques sont venues de forge avec les longerons, disposition qui donne une épaisseur moindre à ce longeron, et permet ainsi d'augmenter sensiblement les dimensions transversales de la boîte à feu. Quelquefois on supprime la traverse d'arrière en bois et on dispose l'appareil d'attelage de la machine au tender de manière à remplacer cette traverse (fig. 594).

Afin de donner plus de rigidité au châssis, on relie les extrémités inférieures des plaques de garde par de fortes armatures *aa* en fer méplat. Dans le même but on réunit les plaques de garde d'un même essieu au moyen d'entretoises *ee* en fer rond (fig. 593).

Quand le châssis est extérieur, on ne peut plus relier les plaques de garde par des armatures transversales ; il faut alors que les longerons présentent plus de rigidité par eux-mêmes. A cet effet, on

les construit en bois doublé de tôle des deux côtés ; les plaques de garde sont alors entaillées dans ces tôles ou rapportées comme dans les châssis intérieurs (fig. 594).

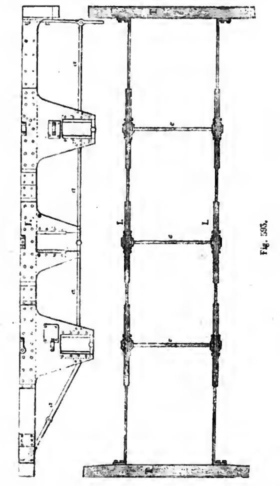


Fig. 593.

En général, les châssis extérieurs nécessitent l'emploi de petits longerons supplémentaires ou longereaux *ll* (fig. 594), sur lesquels on fixe les glissières et quelquefois des boîtes à graisse auxiliaires de l'essieu moteur.

Souvent on relie aussi les longerons des châssis quelconques par des traverses *tt'* (fig. 594), en tôle ou en fer forgé, qui leur donnent

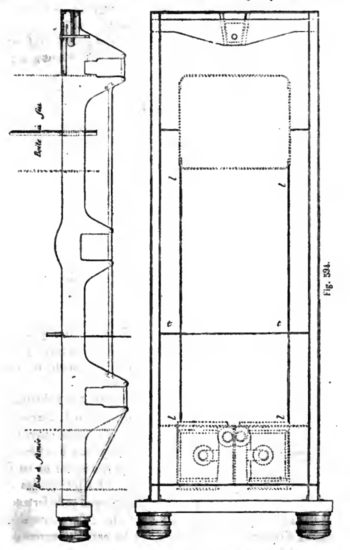


Fig. 594.

de la rigidité et servent de points d'attache aux pièces du mécanisme.

Au châssis on relie la chaudière :

A l'avant, au moyen de supports en fer forgé rivés sur la boîte à fumée et boulonnés sur les longerons, ou simplement en boulonnant cette boîte à fumée contre les cylindres ;

Sous le corps cylindrique, par des supports en fer forgé ou en tôle (fig. 595 et 596) rivés sur la chaudière et boulonnés sur les

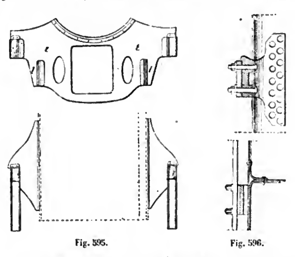


Fig. 595. Fig. 596.

longerons entre les essieux. Comme la chaudière doit pouvoir se dilater, indépendamment du châssis, on ovalise les trous par lesquels les boulons traversent les longerons;

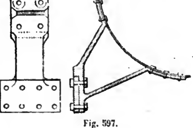


Fig. 597.

Au droit de la boîte à feu, par l'emploi de cornières rivées sur la chaudière et qui reposent sur le châssis, ou d'agrafes en fer ou en fonte (fig. 597) interposées entre le longeron et de fortes oreilles venues sur les parois latérales de la boîte à feu et consolidées au moyen d'équerres en tôle rivées sur les parois transversales de cette capacité. Les longerons, agrafes et oreilles sont réunis par de forts boulons.

Quand les machines ont un châssis intérieur pour les roues motrices et un autre extérieur pour les petites roues (machines Buddicom, Crampton), il y a quatre longerons en tôle de $0^m,025$ d'épaisseur ou en bois et tôle, comme pour les machines à châssis extérieur. Ces quatre longerons sont reliés par plusieurs traverses en tôle.

Les chasse-pierres sont deux tiges verticales en fer fixées par leur partie supérieure à la traverse d'avant des châssis et descendant jusqu'à $0^m,05$ à $0^m,06$ des rails à l'aplomb de ces rails. Ils sont réunis à peu près au milieu de leur longueur par une entretoise et consolidés par deux contre-fiches qui les relient aux longerons ou aux plaques de garde de l'essieu d'avant. Les chasse-pierres, comme l'indique leur nom, servent à débarrasser les rails des corps étrangers qui pourraient les obstruer.

Depuis quelque temps on place aussi des chasse-pierres sur le tender. Ils ont pour but de prévenir les accidents dans le cas où la machine marche en arrière.

On réunit la machine au tender par le moyen d'un tendeur ou d'une barre d'attelage. Le tendeur est construit sur le modèle de celui que nous avons décrit en parlant des waggons. Les deux anneaux s'engagent dans deux crochets dont l'un est fixé au châssis de la machine, l'autre à celui du tender. En général, l'un de ces crochets agit sur le châssis par l'intermédiaire d'un ressort de traction.

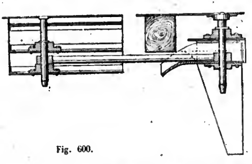
Ordinairement on fait usage d'une barre d'attelage. Celle-ci est une tige de section circulaire renflée vers son milieu et terminée à ses extrémités par deux têtes percées de trous dans lesquels on engage les boulons d'attelage. Ces boulons traversent deux rondelles en fer ou en acier rivées sur deux fortes plaques de tôle fixées à



Fig. 598. Fig. 599.

l'arrière de la boite à feu ou mieux entre les longerons du châssis (fig. 598, 599 et 600).

Outre la barre d'attelage on place généralement de part et d'autre de cette barre deux espèces de chaînes de sûreté.


Fig. 600.

La traverse d'avant des machines est munie en son milieu d'un crochet ou d'un piton à anneaux qui sert à l'atteler derrière une seconde machine ou à la réunir à l'arrière d'un train qu'elle doit refouler dans une manœuvre. Elle porte en outre deux tampons en cuir rembourré de filasse ou en caoutchouc vulcanisé qui s'appuient sur les tampons du tender ou du waggon qui se trouve en queue.

La plate-forme du mécanicien est composée de feuilles de tôle qui reposent sur le châssis, directement ou par l'intermédiaire de consoles; autant que possible on la fait régner tout autour de la machine, afin de pouvoir en visiter toutes les parties pendant la marche. La plate-forme proprement dite qui entoure la boîte à feu est munie d'un garde-corps qui est généralement formé de feuilles de tôle assemblées vers l'arrière sur de petites colonnettes en fer et à sa partie supérieure sur une main-courante qui part de la chaudière et aboutit au sommet de ces colonnettes.

Roues et essieux. — Les roues de locomotives sont partie en fonte, partie en fer forgé, toutes en fer forgé, ou toutes en fonte. Dans le premier cas, le moyeu seul est en fonte (fig. 601 et 602).

Les roues en fonte ne sont employées qu'en Amérique. Quelle que soit la nature de la fonte employée, ces roues nous paraissent dangereuses, au moins pour les machines qui marchent à de grandes vitesses.

Le principal mérite des roues en fer forgé consiste dans leur grande légèreté. On est parvenu à en approcher beaucoup dans les roues à moyeu en fonte, en diminuant les dimensions du moyeu et le cerclant avec un anneau en fer. Les roues en fer étant un peu

plus coûteuses que ces dernières, on continue sur quelques chemins à faire usage des roues avec moyeu en fonte ; *toutefois on tend*

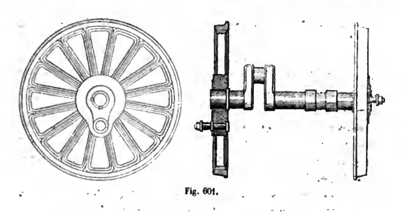


Fig. 601.

assez généralement à les abandonner pour les roues toutes en fer.

Les roues avec moyeu en fonte ne laissent rien à désirer, sous le rapport de la solidité, lorsqu'elles sont bien fabriquées.

Les rais de ces roues sont quelquefois formés, comme ceux des roues de waggons, avec les bandes de fer recourbées. Le plus souvent ils consistent en bandes de fer plat qui pénètrent dans le moyeu en fonte; affectant alors la forme de T, ils se terminent du côté des bandages par deux appendices ayant la moitié de la longueur et la courbure de la portion de bandage comprise entre deux rais. Ces appendices juxtaposés, lorsque tous les rais sont en place, forment une espèce de faux cercle sur lequel on appuie le bandage.

Fig. 602.

Les moyeux des roues de locomotives sont calés sur les essieux au

moyen de la presse hydraulique. Deux clavettes en acier enfoncées à coups de masse pénètrent en même temps dans le moyeu et dans l'essieu.

Les fusées doivent présenter une surface en rapport avec la pression qu'elles ont à supporter. Quand elles sont extérieures, on atteint ce but si la pression est considérable en les allongeant; quand elles sont intérieures, en augmentant le diamètre. Les collets ne doivent pas être trop bas si l'on veut éviter qu'ils prennent en peu de temps du jeu dans les coussinets.

Boîtes à graisse, glissières, etc. — Les boîtes à graisse se composent de trois parties : la boîte, le coussinet et le fond. Le coussinet est toujours en bronze, la boîte et le fond en fonte ou quelquefois en fer ou en bronze.

Les boîtes à graisse en fer cémenté et trempé sont très-avantageuses. On les fabrique maintenant entièrement finies à un prix qui dépasse peu celui de deux francs le kilogramme.

Quand les boîtes sont entièrement en bronze, on supprime souvent le coussinet, ce qui force à remplacer complètement la boîte quand la fusée prend trop de jeu. — A sa partie supérieure, la boîte à graisse reçoit la tige de pression du ressort à peu près en son milieu; des deux côtés de cette tige se trouvent deux réservoirs à huile qui communiquent avec la fusée par le moyen de petits canaux et de mèches de coton qui font office de siphon.

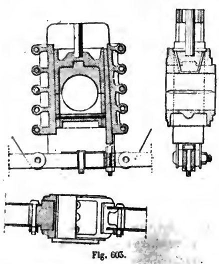


Fig. 603.

Les boîtes à graisse sont maintenues dans les plaques de garde par l'intermédiaire de glissières (fig. 603) en fonte dure. L'ajustage de ces pièces doit être très-soigné; sans cela les axes

du mécanisme ne conservent pas leurs positions relatives. — Les glissières s'usent assez rapidement; aussi les munit-on souvent de coins de serrage. — Quand le châssis est extérieur, on dispose souvent des boîtes à graisse dans les longerons, et l'on soutient ainsi l'essieu coudé en quatre points.

Ressorts. — Les ressorts sont formés de lames d'acier superposées; ils doivent être assez rigides pour que les oscillations du châssis par rapport à l'essieu moteur n'influent pas trop sur la distribution, et pour que les perturbations dont nous avons analysé les causes en parlant des contre-poids attachés aux roues ne donnent pas lieu à des mouvements oscillatoires trop sensibles. Pendant longtemps on se servait d'acier cémenté pour la fabrication des ressorts; on lui préfère maintenant l'acier fondu, qui jouit d'une élasticité et d'une homogénéité beaucoup plus grandes, ce qui permet l'emploi de ressorts composés de neuf feuilles au lieu de quinze à dix-huit.

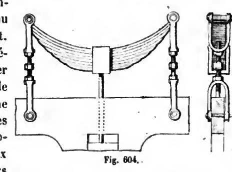


Fig. 604.

La figure 604 représente un ressort en acier cémenté avec son mode d'attache sur une longrine de châssis extérieur. Les deux vis à filets opposés qui réunissent deux à deux les quatre étriers de suspension servent à régler la tension du ressort, la tige cylindrique emmanchée dans la *chape* ou *bride* du ressort traverse le bois du châssis et vient presser sur le milieu de la boîte à graisse.

Dans la figure 605 nous avons donné un ressort en acier fondu monté sur châssis intérieur. — Les tiges de traction portent chacune deux écrous qui, dans le système le plus nouveau, représenté figure 606, reposent sur une rondelle. Celle-ci agit à son tour sur un couteau analogue à ceux des balances, refoulé aux deux extrémités de la maîtresse feuille du ressort. La tige de pression est généralement double; ses deux branches sont guidées des deux côtés du longeron au moyen d'étriers.

Quelquefois on place les ressorts sous les boîtes à graisse. On renonce généralement à cette disposition pour les petites roues,

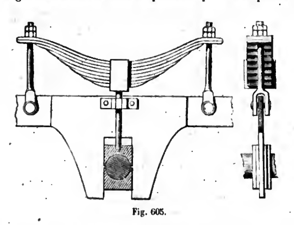


Fig. 605.

parce que ces ressorts sont sujets à être endommagés par des objets qui peuvent rester accidentellement sur la voie.

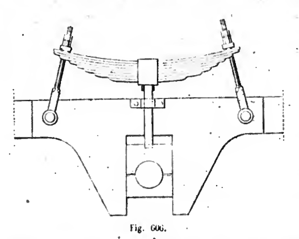


Fig. 606.

On a, dans plusieurs machines de construction récente, remplacé les deux ressorts de l'essieu d'arrière par un ressort unique transversal dont les deux extrémités viennent porter chacune sur une des boîtes à graisse.

Dans l'origine les roues motrices des machines Crampton supportaient l'arrière de la machine par l'intermédiaire d'un ressort transversal unique. Cette disposition, sur plusieurs lignes, est aujourd'hui abandonnée. On pose un ressort pour chaque roue. On a aussi construit quelques machines Crampton suspendues sur trois ressorts seulement; mais ce modèle, plus ingénieux que pratique, n'a obtenu aucun succès.

Quelquefois on fait agir un ressort unique sur deux roues par l'intermédiaire d'un balancier. Les figures 607, 608 et 609 représentent des dispositions de ce genre qui figuraient à l'exposition de Londres, l'une sur une machine de Hawthorn, l'autre sur une machine qui sortait des ateliers de Seraing. Ces dispositions ont pour but de répartir la pression d'une machine également sur les deux essieux.

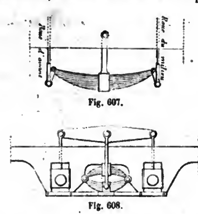
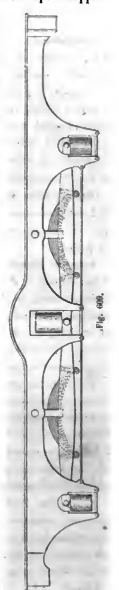


Fig. 607.

Fig. 608.


Fig. 609.

Enfin on se sert souvent en Angleterre de compensateurs qui ont pour objet de conserver aux ressorts la même charge. Ces compensateurs, dont l'avantage est cependant incontestable, sont peu usités en France.

TENDER.

Contenance. — Le tender est, comme nous l'avons dit, le fourgon sur lequel se placent l'eau et le coke nécessaires à l'alimentation de la machine en marche. Sa capacité est calculée d'ordinaire de manière à pouvoir contenir de 5,000 à 8,000 litres d'eau et 1,000 à 3,500 kilogrammes de coke. Cette quantité d'eau suffit généralement pour un parcours de 50 à 60 kilomètres, le coke pour 200 à 500 kilomètres suivant le système de la machine et l'habileté du mécanicien, le plus ou moins de vitesse du convoi et les circonstances atmosphériques.

Éloignement des dépôts. — On dispose sur les grandes lignes, à des distances variables, indiquées page 177 de ce volume, des dépôts où les mécaniciens peuvent compléter leurs provisions d'eau et de coke.

Système d'attelage. — Le tender (fig. 610 et 611) se compose d'un châssis et d'une caisse. Le châssis est quelquefois en bois, ordinairement en tôle. Il est porté sur 4, 6 ou 8 roues par l'intermédiaire de ressorts et de boites à graisse, comme les locomotives et les waggons. A l'avant il reçoit le second boulon ou crochet d'attelage et les chaines de sûreté. Il est muni en outre de tampons qui s'appliquent contre la traverse d'arrière de la machine. Quand la réunion de la machine au tender se fait au moyen d'une barre rigide, ces tampons sont en fer et sont constamment appuyés contre la traverse au moyen d'un ressort de pression, ou ils sont en caoutchouc vulcanisé. Un appareil spécial, appelé *tendeur*, fait reculer les tampons quand on veut atteler. Quand on desserre le tendeur, les tampons viennent presser fortement contre la traverse de la machine et contribuent ainsi à la rigidité du système.

A l'arrière, le châssis est muni d'un système de choc et traction composé, comme celui des waggons, d'un grand ressort qui porte en son milieu la *barre*, le *crochet* et le *tendeur* d'attelage et qui appuie par ses deux extrémités sur les tiges de tampons de choc. Deux chaînes de sûreté complètent le système d'attelage du tender au train.

Caisse. — La caisse est en tôle de 5 à 6 millimètres d'épais-

seur; elle se compose d'un fond sur lequel repose la *caisse à eau* en forme de fer à cheval. Entre les branches et sur la partie supérieure de cette caisse se charge le coke. Un ou deux trous d'homme

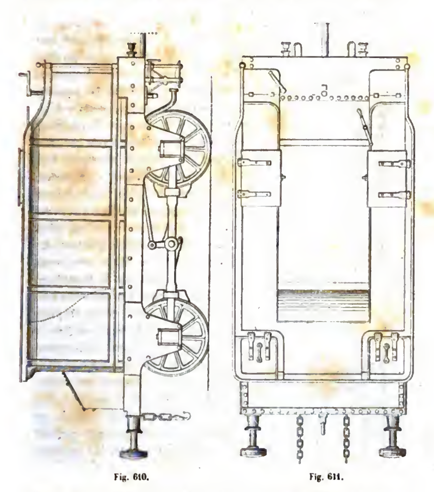


Fig. 610. Fig. 611.

garnis de couvercles et de paniers en cuivre percés de trous servent à l'introduction de l'eau et au nettoyage de la caisse. Ces trous sont généralement placés à l'arrière du tender et des deux côtés de sa paroi supérieure.

Prise d'eau. — La prise d'eau se fait par le moyen de deux soupapes placées à l'avant de chacune des branches du fer à cheval. Ces soupapes se manœuvrent au moyen d'une tige à vis depuis la plate-forme du mécanicien; sous le plancher elles communiquent avec deux tuyaux en cuivre rouge qui viennent se placer dans le prolongement des tuyaux d'aspiration des pompes.

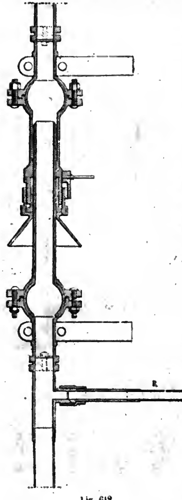


Fig. 612.

Tuyaux de raccordement. — L'attelage du tender avec la machine étant disposé de façon que ces deux appareils puissent s'incliner l'un par rapport à l'autre et s'écarter, les tuyaux de prise d'eau doivent se raccorder de manière à permettre ces mouvements. A cet effet, on a d'abord opéré la jonction des tuyaux de la machine avec ceux du tender au moyen de boyaux en cuir ou en toile. Ces appareils sont imparfaits, longs à mettre en place et coûteux d'entretien; on leur a substitué les tuyaux entièrement métalliques représentés figure 612. Sur les deux tuyaux en cuivre rouge, on fixe au moyen de brides et de boulons deux tuyaux en bronze, à *rotules*, qui peuvent prendre toutes sortes de positions par rapport à la partie fixe de l'appareil. Le tube qui forme le prolongement de la rotule du tender pénètre dans un presse-étoupes placé à l'extrémité de la rotule de la machine. Le couvercle de ce presse-étoupes est en forme d'entonnoir, afin de faciliter l'entrée du tuyau du tender; il doit être dirigé en arrière afin que le sable

de la voie ne puisse s'y engouffrer quand la machine marche en avant dans le sens ordinaire de son mouvement.

Les rotules sont coûteuses de construction et d'entretien; M. Polonceau les a remplacées sur quelques machines de Versailles (rive gauche) et d'Orléans par des tuyaux en cuivre, contournés en spirales, dont la forme se prête facilement à tous les mouvements de la machine et du tender sur la voie.

Aujourd'hui on remplace assez généralement ces tuyaux métalliques ou rotules par un tuyau en caoutchouc vulcanisé, épais, entouré d'une spirale en fil de fer qui l'empêche d'être crevé par la pression intérieure de la vapeur.

Quand la production de vapeur devient assez considérable pour faire lever les soupapes, ce qui arrive surtout en stationnement, on envoie cet excédant de vapeur dans le tender, où elle chauffe l'eau d'alimentation. A cet effet, deux tuyaux munis de robinets, qui sont à la disposition du mécanicien, partent de la partie supérieure de la boîte à feu et s'assemblent sur le tuyau de raccordement de la machine en R (fig. 612). Ces appareils s'appellent les *tuyaux* et *robinets réchauffeurs*.

Frein. — Le tender porte aussi le frein au moyen duquel le chauffeur modère la vitesse du convoi ou l'arrête complétement. Le frein du tender a subi les mêmes modifications que celui des waggons. Il se composait d'abord d'un seul sabot appliqué au moyen d'un levier sur une roue. On a ensuite employé un frein à deux sabots; maintenant on fait usage de freins à quatre sabots qui viennent presser deux à deux chacune des roues du tender aux extrémités d'un même diamètre horizontal. On peut ainsi enrayer simultanément les quatre roues et obtenir comme force retardatrice le frottement de glissement dû au poids total du tender.

Un bon frein de tender doit être prompt et énergique; on le manœuvre actuellement au moyen de vis à un, deux ou même trois filets, ou au moyen de crémaillères. Ce dernier système nous paraît préférable quand les rapports des engrenages sont convenablement calculés, parce que son action est presque instantanée.

Les auteurs du *Guide du mécanicien* proscrivent l'emploi du

levier, à l'aide duquel le chauffeur ne peut presser les roues avec une énergie suffisante si le tender est lourd.

Ils conseillent un frein du genre de ceux représentés page 269.

Sur le châssis du tender et derrière la caisse on place un grand coffre qui contient des crics, des pinces, des cordages et autres agrès, au moyen desquels on peut parer immédiatement aux accidents qui peuvent survenir pendant la marche d'un train.

Ordinairement le tender porte encore trois ou quatre coffres dans lesquels le mécanicien range ses outils, la graisse, l'huile et autres accessoires qu'il doit emporter avec lui.

Depuis quelque temps on supprime les tenders séparés sur les lignes à petit parcours. A cet effet, on place la caisse du tender sur les longerons de la machine prolongés; puis on modifie la position des roues de cette machine de manière à obtenir une répartition convenable du poids sur les essieux. On loge également des caisses à eau sur la chaudière, ou sous cette chaudière entre les essieux, ou enfin sous la plate-forme qui règne autour de la machine. Nous avons donné précédemment plusieurs dispositions de ces *machines-tenders*.

Quand les rayons des courbes et la force des rails permettent d'adopter cette disposition, elle est très-convenable. Elle supprime, en effet, la portion notable du poids mort représentée par le châssis et les roues et essieux du tender, ainsi que les appareils si compliqués de raccordement des prises d'eau et d'attelage.

Roues. — Les roues de tender sont ordinairement semblables aux roues de waggon ou aux petites roues de locomotives. Depuis quelque temps, on fait usage de roues pleines très-légères et très-durables. On pourrait établir de la même manière les petites roues de locomotives.

CHAPITRE XIII

DIMENSIONS DES MACHINES, CAHIER DE CHARGES, DURÉE ET CONSOMMATION EN COMBUSTIBLE.

DIMENSIONS.

Dimensions des éléments principaux.

Nous indiquerons dans ce chapitre non-seulement les dimensions principales, mais encore celles de toutes les parties des machines en usage sur nos chemins de fer. Les chiffres seront extraits du *Guide du mécanicien*. Nous ferons aussi quelques emprunts à l'ouvrage anglais de Kinnear Clark.

Dans un chapitre suivant nous donnerons le résumé des expériences faites par MM. Gouin, Lechatelier, Clark, Gooch, Polonceau, etc., dans le but d'étudier les causes diverses qui peuvent influer sur les dimensions qu'il convient de donner aux machines.

Nous verrons aussi comment on peut, au moyen d'une formule, calculer les principales dimensions d'une machine locomotive eu égard à la charge qu'elle peut remorquer et à la vitesse à laquelle elle doit marcher avec cette charge, et jusqu'à quel point les données fournies par la pratique s'éloignent de celles fournies par la théorie.

Surface de chauffe totale. — La nécessité de marcher à de grandes vitesses avec de faibles charges a conduit les ingénieurs à augmenter les surfaces de chauffe autant que possible.

Ainsi, lorsque la surface de chauffe totale des machines à voyageurs de Sharp-Roberts, employées il y a vingt ans sur le chemin

de Versailles (rive gauche), n'était que de 56 mètres carrés, celle des machines actuelles du chemin d'Orléans, à roues indépendantes, marchant à toutes vitesses, est de 79 mètres carrés; des machines Gouin employées sur le chemin du Midi, de 96 mètres carrés; et celle des machines Crampton, au Nord, consacrées exclusivement au service des trains express, est de 98^{m^2},42.

On fait aussi un grand usage de machines mixtes dont la surface de chauffe est de 85 à 95 mètres carrés.

Pour les machines à marchandises ordinaires, on a porté la surface de chauffe à 133 mètres carrés (machines du Bourbonnais), et pour celles qui sont destinées à un service exceptionnel (machines Engerth) à 196^{m^2},40.

Rapport des surfaces de chauffe. — L'accroissement des surfaces de chauffe ayant porté en même temps sur la surface du foyer (surface de chauffe par rayonnement) et sur celle des tubes (surface par contact), le rapport des deux surfaces s'est trouvé plutôt diminué qu'augmenté. Il a même, dans certaines machines, considérablement diminué.

Ainsi, la surface de chauffe par rayonnement à celle par contact dans les anciennes machines de Sharp étant de 1 : 8 1/2, elle est dans les machines à voyageurs construites récemment (machines Polonceau) de 1 : 12 ou de 1 : 13 (machines Crampton); dans les machines à marchandises Polonceau de 1 : 14,30; dans celles du Bourbonnais de 1 : 15, et dans les machines Engerth de 1 : 19; dans les nouvelles machines à fortes rampes du Nord, elle est de 1 : 17,50.

Surface de chauffe du foyer. — Les plus grands foyers sont ceux des machines Crampton pour voyageurs, et Engerth pour marchandises. La surface de chauffe des premiers est de 7 mètres carrés, des seconds de 9^{m^2},70.

Surface des tubes. — Les plus grandes surfaces de chauffe par contact sont aussi celles des machines Crampton et Engerth; les premières ont 91^{m^2},42, les secondes 186^{m^2},70.

Surface de la grille. — La surface de la grille a augmenté avec la grandeur du foyer. Le rapport de cette surface à la surface de chauffe est généralement plus faible dans les machines à voyageurs

que dans celles à marchandises. Ainsi, lorsque nous le trouvons de 1 : 71 ou 1 : 72 dans un certain nombre de machines à voyageurs (Polonceau, Gouin, Crampton), il est de 1 : 100 environ dans les machines à marchandises Polonceau, du Bourbonnais et Engerth.

Longueur des boîtes à feu. — La longueur des boîtes à feu dans les anciennes machines à voyageurs Stephenson, avec foyer en porte à faux sur l'essieu d'arrière, ne pouvait dépasser une certaine limite sans diminuer outre mesure la stabilité de la machine. Transportant dans ces machines un des essieux à l'arrière de la boîte à feu, on a pu en augmenter la longueur. Cette longueur prise à l'intérieur de la boîte est, dans les machines construites le plus récemment, celles du chemin d'Orléans de $1^m,20$, celles du chemin du Midi de $1^m,28$, et dans les machines Crampton de $1^m,37$. Dans les machines à marchandises du Bourbonnais elle est de $1^m,35$, dans les machines du Nord pour de fortes rampes de $1^m,39$. Dans les machines Engerth, où, comme on sait, le foyer repose en partie sur le tender, on a porté cette longueur à $1^m,66$ (machine Kessler, du Midi).

Largeur des boîtes à feu. — La largeur du foyer se trouve limitée par les longerons du châssis ou par les roues. Elle atteint un maximum dans les machines à marchandises à fortes rampes du Nord ($1^m,26$), et dans les machines Engerth du Nord ($1^m,35$). Dans les autres machines, elle ne dépasse pas $1^m,10$.

Profondeur. — La profondeur des boîtes à feu, c'est-à-dire la distance de la grille au ciel, varie de $1^m,300$ à $1^m,500$.

Écartement des parois. — L'écartement longitudinal intérieur entre les parois du foyer et son enveloppe varie de $0^m,075$ à $0^m,080$. L'écartement transversal est quelquefois un peu plus faible.

Longueur du corps cylindrique. — La longueur du corps cylindrique, qui n'était que de $2^m,43$ dans les anciennes machines à voyageurs de Sharp, est aujourd'hui dans les machines de cette espèce de $3^m,25$ à $3^m,35$ (machines Polonceau et Gouin). Pour les machines à marchandises ordinaires, elle dépasse 4 mètres (Polonceau et Bourbonnais).

Dans les machines Crampton, cette longueur est de $3^m,55$; dans les machines Engerth, du Nord, de $4^m,89$.

La longueur des tubes est en rapport avec celle du corps cylindrique. Elle est seulement un peu plus grande.

Sauf le cas où le régulateur est placé à l'origine du tuyau, les lumières du régulateur ont une section supérieure à celle du tuyau de prise de vapeur, qui a lui-même une section égale à un dixième de l'air de chaque piston.

Diamètre intérieur du corps cylindrique. — Le diamètre intérieur du corps cylindrique est au minimum de $0^m,95$ à $0^m,97$. Il n'a pas jusqu'ici dépassé $1^m,50$ dans les machines faites pour les chemins à petite largeur de voie.

Dimensions de la boîte à fumée. — Les dimensions de la boîte à fumée ne sont pas aussi indifférentes qu'elles peuvent le paraître au premier abord : elles influent, comme nous le verrons, sur le tirage. La longueur, variant de $0^m,60$ à $0^m,90$, est généralement moins grande que celle de la boite à feu.

La largeur varie de $1^m,20$ à $1^m,40$.

La capacité, moins le volume des cylindres, de $0^m,750$ à $0^m,950$.

Dimensions de la cheminée. — En France, la hauteur des ouvrages d'art étant de $4^m,50$, la hauteur effective de la cheminée varie, suivant la hauteur de la chaudière, de $1^m,60$ à 2 mètres; son diamètre intérieur varie de $0^m,33$ à $0^m,45$.

Dans les machines très-élevées dont la hauteur de la cheminée est trop restreinte, on descend la base de celle-ci jusqu'au niveau des tubes.

Diamètre des cylindres. — Le diamètre des cylindres des machines à voyageurs, qui, dans les anciennes machines de Sharp, où l'on ne faisait pas usage de la détente variable, n'était que de $0^m,35$, a été porté dans les nouvelles machines à $0^m,40$ (machines Polonceau), et même à $0^m,42$ (machines Gouin). Dans les machines à marchandises, il est généralement plus grand : ainsi, dans celles du Bourbonnais, il a atteint $0^m,45$; dans les machines à fortes rampes du Nord, $0^m,48$, et dans les Engerth, $0^m,50$.

Course des pistons. — La course du piston, qui n'était que de $0^m,46$ dans les machines à voyageurs de Sharp, est de $0^m,60$ dans les machines à voyageurs Polonceau; de $0^m,65$ dans les puissantes machines à marchandises du Bourbonnais et dans les Engerth.

Inclinaison des cylindres. — Les cylindres, dans toutes les machines à voyageurs récemment construites, sont horizontaux. Ils sont inclinés à 60°,38′ dans les machines à marchandises Polonceau, horizontaux dans les machines Engerth et les machines à fortes rampes du Nord.

Avance. — L'avance angulaire est de 30 degrés dans la plupart des machines à voyageurs actuelles; de 15 degrés seulement dans les Crampton.

Dans les machines à marchandises, l'angle d'avance est assez variable. Dans les machines du Bourbonnais, il n'est que de 12°,15′.

Diamètre des roues. — Le diamètre des grandes roues dans les machines à roues indépendantes, les grandes roues étant en avant de la boîte à feu, étaient, dans les machines de Sharp, de 1m,66. Il a été porté dans un grand nombre de machines semblables à 1m,80, et par M. Polonceau à 2m,02. Dans les machines Crampton, on s'est servi de roues du diamètre de 2m,30 (machines des chemins de fer de l'Est). Les roues d'avant, dans les machines ordinaires, sont de même diamètre que celles d'arrière. Dans les machines Crampton, les roues du milieu sont d'un diamètre un peu plus petit que celles d'avant (1m,22).

Dans les machines mixtes, les roues couplées ont de 1m,60 à 1m,70; les autres roues 1m,10.

Dans les machines à marchandises ordinaires, le diamètre des roues ne dépasse pas 1m,50 (machines du chemin de Lyon), et descend à 1m,26 (machines du Bourbonnais). Dans les Engerth, il est de 1m,25. Dans les machines à fortes rampes du Nord, de 1m,06 seulement.

Fusées. — Le diamètre et la longueur des fusées varient avec la charge.

Dans les machines à voyageurs de M. Polonceau, le diamètre de la fusée de l'essieu d'avant est de 0m,135, de l'essieu du milieu, 0m,135, et de l'essieu d'arrière, 0m,110. La longueur des fusées est respectivement de 0m,250, 0m,190 et 0m,210.

Pompes. — Course. — Lorsque les pompes sont mues par des excentriques, la course est égale au double du rayon d'excentricité, et varie de 0m,110 à 0m,140; son diamètre est habituellement de

$0^m,10$. La bielle qui commande le plongeur doit avoir au moins $0^m,50$ de longueur. Quelquefois, à défaut d'un espace suffisant, on a placé ces pompes en avant de l'essieu moteur, mais cette disposition est exceptionnelle.

Le diamètre du plongeur est généralement de $0^m,04$ à $0^m,07$; la course de $0^m,46$ à $0^m,70$.

Tuyau d'aspiration et de refoulement. — Le tuyau en cuivre rouge au moyen duquel les pompes puisent leur eau dans le tender a de $0^m,04$ à $0^m,05$ de diamètre, et de $0^m,0025$ à $0^m,004$ d'épaisseur; il aboutit au tender, où son orifice peut être fermé à volonté par une soupape, comme nous l'indiquerons plus tard.

Le *tuyau de refoulement* est en cuivre rouge de $0^m,0025$ à $0^m,004$ d'épaisseur, et de même diamètre que le tuyau d'aspiration.

Poids des machines. — Le poids des machines est très-variable.

Les anciennes machines Buddicom à voyageurs ne pesaient que 17 tonnes, la chaudière portant la quantité d'eau nécessaire pour la marche; les machines à voyageurs du chemin d'Orléans récemment construites pèsent environ 25 tonnes. Les Crampton, 27 tonnes; les machines mixtes, 25 à 25 tonnes, quelquefois 36 tonnes (Gouin); les machines à marchandises (Polonceau), 30 tonnes; celles du Bourbonnais, 32 tonnes; les machines Engerth à marchandises, avec leur tender, $62^t,80$.

Répartition du poids sur les essieux. — La répartition du poids sur les essieux varie suivant les machines.

En général, le poids sur un essieu ne dépasse pas 12 tonnes.

Dans les machines à voyageurs à roues indépendantes, l'essieu moteur supporte une partie considérable de la charge.

Si cet essieu est placé au milieu, comme dans les machines du modèle Stephenson, et que l'un des essieux se trouve en arrière de la boîte à feu, l'essieu de devant porte, au chemin de Strasbourg, la machine étant chargée, 6,400 kilog., celui de derrière 5,055 kilog., et l'essieu moteur 8,200 kilog.

La charge sur les essieux des machines Crampton à voyageurs, grande vitesse de Stephenson, Engerth mixte ou à roues couplées, et machines à très-petite vitesse du Nord, sera indiquée dans

le chapitre consacré à la description spéciale de ces machines.

Dans les machines à marchandises du système ordinaire autres que celles du chemin d'Orléans, la charge est répartie également ou à peu près sur les essieux, comme dans les machines de ce chemin.

Dimensions des parties composantes des éléments principaux.

Après avoir indiqué les dimensions adoptées pour les éléments principaux de la locomotive, nous allons passer en revue les parties composantes de chacun de ces éléments.

Foyer. — Une seule feuille de cuivre forme le *ciel* ou plafond et les *parois latérales du foyer*; deux autres feuilles dont les rebords sont pliés en forme de corniche forment, l'une la paroi *antérieure* ou plaque *tubulaire* qui reçoit les tubes, l'autre la paroi *postérieure* dans laquelle est percée la porte du foyer. Ces trois plaques sont assemblées entre elles au moyen de rivets en cuivre ou en fer.

Les armatures sont espacées d'axe en axe de $0^m,10$, et, les boulons étant à la même distance entre eux, le diamètre de ces boulons est calculé de manière à supporter un effort de 720 kilog. environ.

Les armatures des machines Crampton, dont la longueur est de $1^m,55$, sont formées de deux feuilles de $0^m,010$ d'épaisseur sur $0^m,180$ de hauteur au sommet.

Grille. — L'écartement des barreaux de la grille varie avec le combustible employé. Pour des cokes de pureté moyenne, il est de $0^m,018$ à $0^m,025$; pour des cokes contenant une grande quantité de mâchefer, il doit être plus grand; pour le bois, dans les machines américaines, il est de $0^m,025$.

Les barreaux ont habituellement $0^m,100$ de hauteur au milieu, $0^m,015$ de largeur à la partie supérieure, et environ $0^m,010$ à la partie inférieure, que l'on amincit pour faciliter le passage de l'air.

Les barres transversales supportant les barreaux sont en fer carré de $0^m,04$ de côté; elles reposent elles-mêmes sur des consoles ou pattes en fer forgé vissées et boulonnées sur la pièce qui établit la jonction entre les boîtes à feu intérieure et extérieure; ces barres portent des goujons qui entrent dans des trous correspondants ménagés sur les consoles.

La surface de la grille est généralement placée à $0^m,03$ ou $0^m,04$ en contre-haut du fond de la chaudière, afin que les dépôts d'incrustations qui s'accumulent et se solidifient dans cette partie, pendant le temps que la machine reste en service, ne s'élèvent pas plus haut que le point où le combustible incandescent est en contact avec les parois.

Porte et trou d'homme. — La porte est de forme ovale ou rectangulaire avec angles arrondis; le trou qu'elle ferme est percé à travers les parois postérieures des deux boîtes à feu, qui sont reliées par un anneau en fonte ou fer forgé et des entre-toises qui traversent l'épaisseur de cet anneau. Elle est en tôle de $0^m,01$ d'épaisseur, et garnie intérieurement d'une autre plaque qui en est maintenue à $0^m,06$ ou $0^m,07$ de distance par des entre-toises en fer; cette plaque reçoit l'action directe du feu, concourt à empêcher le refroidissement et conserve la porte. Elle a habituellement $0^m,35$ sur $0^m,27$ d'ouverture.

Diamètre, épaisseur, écartement des tubes. — Le diamètre intérieur des tubes dans nos machines où l'on brûle du coke ou de la houille varie de $0^m,045$ à $0^m,050$; dans les machines à fortes rampes du Nord, il n'est que de $0^m,037$; dans les machines américaines où l'on brûle du bois ce diamètre est de $0^m,051$.

L'épaisseur varie de $0^m,002$ à $0^m,025$; dans les machines à fortes rampes du Nord elle n'est que de $0^m,0015$.

L'écartement varie avec la nature de l'eau. Pour les eaux les plus pures, il ne descend pas au-dessous de $0^m,015$. D'après les auteurs du *Guide du mécanicien*, $0^m,017$ serait la moyenne la plus convenable.

Trous de la plaque du foyer. — On donne, en construisant, aux trous de la plaque du foyer un diamètre de $0^m,002$ inférieur à celui des trous de la plaque opposée, et, après trois ou quatre changements de tube, les premiers se sont agrandis, par le refoulement du métal, au diamètre des derniers; cette différence est d'ailleurs nécessaire pour l'enlèvement facile des tubes qui se recouvrent d'incrustations.

On fait entrer les viroles à coups de marteau et on serre fortement le bord des tubes contre les trous qu'ils remplissent. Les

viroles doivent rester de 1 ou 2 millimètres seulement en saillie sur la plaque tubulaire.

Boîte à fumée. — L'épaisseur des parois latérales en tête de la boîte à fumée est de $0^m,010$ dans les machines ordinaires. Dans les machines Engerth elle atteint $0^m,015$. — L'épaisseur de la plaque tubulaire de la boîte à fumée varie de $0^m,015$ à $0^m,020$ (machines Engerth).

Corps cylindrique. — L'épaisseur de la tôle formant l'enveloppe de la chaudière varie de $0^m,011$ à $0^m,0125$ dans la plupart des machines; elle est de $0^m,015$ dans les machines Engerth du Creusot.

Cheminée. — La cheminée est de forme cylindrique et construite d'une seule feuille de tôle de $0^m,004$ à $0^m,005$ d'épaisseur; elle se place sur le sommet de la boîte à fumée, à laquelle on la rattache par des boulons, dont il faut avoir soin de placer les écrous en dehors pour faciliter le démontage.

Registre. — On donne habituellement au registre unique que porte chaque machine une ouverture de $0^m,25$ sur $0^m,20$.

Tuyaux des prises de vapeur. — La section intérieure des tuyaux de prise de vapeur varie de un dixième à un douzième de celle de chaque cylindre; celle des tuyaux de bifurcation doit être égale à la moitié au moins de la précédente.

L'épaisseur des tuyaux de prise de vapeur n'est que de $0^m,0015$ dans les dernières machines de M. Polonceau.

Tiroirs. — On laisse au tiroir un jeu de $0^m,003$ à $0^m,004$ dans ses guides; c'est l'existence de ce jeu qui rend surtout nécessaire l'interposition du ressort.

Tuyau d'échappement. — Lorsque le tuyau d'échappement es unique et placé dans l'axe de la boîte à fumée, on est forcé de lu donner une forme elliptique dans toute la partie qui correspond aux tubes, afin de faciliter le nettoyage de ceux-ci.

La section du tuyau d'échappement est habituellement, pour chaque cylindre, égale à celle du tuyau de prise de vapeur, c'est-à-dire à environ un dixième de l'aire du piston; quelquefois elle lui est supérieure d'un cinquième; si le tuyau est commun, cette section doit être doublée.

Cylindre. — Le fond du cylindre, lorsqu'il est mobile, et le couvercle, doivent être parfaitement dressés; ils sont boulonnés sur des brides venues à la fonte sur le cylindre; quelquefois les boulons ont la tête noyée dans le corps même du cylindre, dont la tranche est exactement planée et forme joint avec le rebord du couvercle. Les brides sur lesquelles sont boulonnés les couvercles ont de $0^m,03$ à $0^m,04$ d'épaisseur sur $0^m,06$ de largeur; on les dresse exactement, afin que la juxta-position soit aussi parfaite que possible. Les parois du cylindre ont de $0^m,025$ à $0^m,039$ d'épaisseur, et sont quelquefois renforcées par des nervures annulaires de $0^m,01$ de saillie. Il convient de donner aux cylindres neufs une sur-épaisseur, afin de pouvoir les aléser deux ou trois fois sans craindre de compromettre leur solidité; on donne immédiatement à l'entrée et au couvercle qui y pénètre le diamètre maximum que les alésages successifs peuvent atteindre. Les plateaux doivent être aussi minces que possible, pour que, dans le cas de rupture ou de dérangement du piston, ils puissent casser, mais préserver le cylindre lui-même d'une rupture qui occasionnerait des réparations dispendieuses.

Boîte du tiroir. — La boîte du tiroir, quelles que soient sa forme et sa disposition, a une capacité assez grande pour que le tiroir ne fasse pas obturateur et ne gêne pas le passage de la vapeur. La surface, qui comprend les orifices des lumières et sur laquelle glisse le tiroir, ou, en d'autres termes, la *table du cylindre* ou le *siége du tiroir*, est exactement dressée et rodée. Les parois n'ont guère que de $0^m,015$ à $0^m,022$ d'épaisseur; une bride et des boulons fixent le couvercle, qui est renforcé par des nervures.

Tension. — La section des lumières ou conduits de vapeur à l'introduction est à peu près égale à celle du tuyau de prise de vapeur, celle de la lumière d'échappement à peu près égale à la somme des deux autres. Le développement des conduits d'introduction est variable.

Couvercles. — Les couvercles entrent à frottement doux, et sur une longueur d'environ $0^m,03$ à $0^m,04$ dans les cylindres. Le fond ou couvercle d'arrivée, lorsqu'il est mobile, porte les glissières; et,

dans ce dernier cas, il doit être assujetti très-solidement; il porte un *stuffing-box* ou *boîte à étoupes*, composé généralement d'un anneau en bronze, appelé *grain*, et d'un *chapeau* ou *presse-étoupes*, également en bronze ou en fonte, garni alors d'une bague en bronze, dans lesquels glisse, à frottement doux, la tige du piston : une *garniture* en chanvre enduit de suif est pressée entre le grain et le chapeau, et forme un joint imperméable à la vapeur, tout en permettant à la tige de glisser sans trop de résistance. La hauteur de la garniture est de $0^m,08$ à 0^m10, et son épaisseur de $0^m,015$ à $0^m,020$. On a souvent essayé, mais sans suite, des garnitures métalliques.

Les couvercles dont la surface est plane ont une épaisseur un peu plus grande que celle des cylindres; les boulons qui servent à les attacher sont au nombre de huit à dix, et ont environ $0^m,025$ de diamètre.

Robinets purgeurs. — Les robinets purgeurs ne présentent rien de particulier comme disposition; ils sont en bronze, d'une section intérieure variant de $0^m,005$ à $0^m,012$.

Pistons. — On donne aux segments des pistons $0^m,05$ de hauteur et près de la fente $0^m,015$ à $0^m,020$ d'épaisseur; cette épaisseur croît jusqu'à l'extrémité opposée du diamètre correspondant, suivant une progression que l'expérience et le tâtonnement indiquent pour chaque espèce de métal et pour les différents diamètres de cylindres. Les segments sont ajustés avec une grande précision, non-seulement sur leur surface extérieure, mais encore sur les deux tranches, car les fuites de vapeur pourraient s'établir tout aussi bien entre les plateaux et les segments qu'entre les segments et les parois du cylindre. Au point où le coin de serrage s'applique, les deux extrémités du segment présentent chacune un renflement qui sert d'appui au coin; l'angle de celui-ci est de 60 à 80 degrés. Dans le piston Ramsbottom et Suédois, l'épaisseur des segments ne dépasse guère 8 à 12 millimètres, elle est constante, et les segments font eux-mêmes ressorts.

Les tiges de piston sont cylindriques dans toute leur étendue, leur diamètre varie de $0^m,06$ à 0^m08.

Bielles. — La longueur des bielles en général est au moins cinq fois celle du rayon de la manivelle.

Excentriques. — Le diamètre des poulies d'excentrique dépend du diamètre de l'essieu et de la course du tiroir; il s'augmente de toute la quantité qui est nécessaire pour embrasser l'essieu du côté opposé au centre de l'excentrique, et que l'on peut réduire à $0^m,025$, en fabriquant en fer la petite moitié, dans le cas où les poulies sont indépendantes. Leur épaisseur varie de $0^m,05$ à $0^m,07$.

Les colliers d'excentrique, lorsqu'ils sont indépendants de la barre, sont en bronze. Leur largeur est égale à celle des poulies; cependant, quand les deux excentriques sont accolés, on réduit leur épaisseur de $0^m,001$ sur chaque face, afin d'avoir $0^m,002$ de jeu entre les deux colliers. Leur épaisseur varie de $0^m,04$ à $0^m,07$; elle doit être assez forte pour que l'on puisse aléser plusieurs fois, tout en conservant une résistance suffisante.

Les barres d'excentrique sont en acier fondu ou en fer plat, de $0^m,08$ à $0^m,09$ de hauteur à un bout, et $0^m,05$ à $0^m,06$ à l'extrémité opposée à l'excentrique; elles ont $0^m,015$ à $0^m,020$ d'épaisseur. Dans quelques cas, pour éviter un essieu placé au même niveau que l'essieu moteur, on a coudé l'une des barres d'excentrique.

Coulisse. — La coulisse, ainsi que toutes les pièces de la distribution, sont aciérées et trempées pour résister à l'usure produite par le frottement.

Appareils de changement de marche (leviers). — On fait quelquefois venir les leviers de forge sur l'arbre, sur une longueur de $0^m,10$ à $0^m,20$, pour souder ensuite à ces amorces les barres de fer qui les complètent; on a commencé par les ajuster au moyen de clavettes; mais on peut se contenter de les souder par encollage, aujourd'hui que le travail de la forge est assez perfectionné pour qu'un tel mode de soudure donne toute espèce de garantie.

L'arbre de relevage doit être très-fort pour résister à la torsion; son diamètre varie de $0^m,05$ à $0^m 08$. Il est solidement encastré à ses extrémités dans de larges paliers fixés aux longerons intérieurs des châssis, et garnis de coussinets en bronze, ou plus simplement en fonte. Quelquefois on remplace le palier par une crapaudine en fer aciéré sur laquelle l'arbre s'appuie par son extrémité.

Châssis. — L'écartement des longerons du châssis, s'il est inté-

rieur, varie de $1^m,20$ à $1^m,30$. S'il est extérieur, il s'élève à $1^m,80$ ou 2 mètres. Dans les machines Crampton, il atteint $2^m,40$.

La hauteur des longerons est ordinairement de $0^m,20$ à $0^m,24$, quelquefois de $0^m,30$; leur épaisseur, de $0^m,025$ à $0^m,030$.

La hauteur de l'axe des tampons au-dessus du rail varie entre $0^m,97$ et $1^m,05$. L'écartement des tampons d'axe en axe est $1^m,70$ à $1^m,80$.

Ressorts. — La largeur des ressorts est à peu près invariablement de $0^m,09$. Quant à la longueur, elle est variable, ainsi que le nombre des feuilles.

Ainsi, dans les machines à voyageurs construites par M. Polonceau, la longueur des trois ressorts de suspension est constante ($0^m,76$), mais celle du ressort de traction est plus grande ($1^m,10$). L'épaisseur des feuilles est pour tous les ressorts de $0^m,01$, mais le nombre, qui est de 14 pour le ressort d'avant, n'est plus que de 12 pour celui du milieu, et de 6 pour le ressort d'arrière; il est de 12 pour le ressort de traction. La charge sur chaque ressort d'avant ou du milieu est de 5,000 kilogrammes, sur chaque ressort d'arrière de 1,300 kilogrammes seulement.

Dans les machines à marchandises du même constructeur, la largeur des ressorts de suspension et de traction est la même que dans les machines à voyageurs, mais la longueur de chacun des ressorts de suspension est de $0^m,94$ lorsque celle du ressort de traction est de $0^m,87$. Le nombre des feuilles est de 12 pour chacun des ressorts de suspension extrêmes, et de 10 pour celui de milieu, et de 12 pour le ressort de traction. La charge est sur chacun des ressorts de suspension de 4,500 kilog.

Tous ces ressorts sont en acier fondu. L'épaisseur des feuilles varie ordinairement de $0^m,010$ à $0^m,012$, rarement elle atteint $0^m,015$.

CAHIER DE CHARGES.

Les conditions générales des cahiers de charges pour les locomotives à voyageurs et pour celles à marchandises étant les mêmes, il nous suffira d'indiquer celles du cahier de charges des locomotives à marchandises des chemins de fer de l'Est. Ce cahier de charges diffère peu de celui des autres Compagnies et peut être considéré comme le résultat de longues études pratiques.

L'article 1er, après avoir indiqué le type de marchines auquel appartient celle qui a donné lieu au traité dont le cahier de charges est une annexe (machines à six roues couplées et cylindres extérieurs), fait mention des principales dimensions de la machine. Voici quelles sont ces dimensions :

Diamètre intérieur des cylindres.		0m,440
Course des pistons.		0 660
Diamètre des roues.		1 400
Épaisseur des côtés de la chaudière.		0 015
Épaisseur des parois latérales et du ciel de la boite à feu.	0m,015 à	0 018
Épaisseur de la plaque tubulaire.		0 025
Écartement des entretoises d'axe en axe.		0 100
Diamètre.		0 020
Nombre de tubes.		197
Composition des tubes.	Cuivre.	68
	Zinc.	32
Diamètre extérieur.		0m,049
Épaisseur.	au moins	0 025
Chaudières et cylindres timbrés à.		8 atm.
Épaisseur des feuilles de tôle recouvrant la chaudière.		0m,002
Épaisseur des cornières qui le supportent.		0 035
Le tout retenu par des cercles en fer feuillard.		
Épaisseur des bandages au milieu.		0 060
Composition des coussinets.	Cuivre rouge neuf de Russie.	82 p. 100
	Étain pur anglais.	18 —

La proportion ci-dessus, 0,68 pour le cuivre et 0,32 pour le zinc, avait été, sans autorisation, modifiée par les fournisseurs, qui employaient 0,35 de zinc et 0,65 de cuivre. — L'expérience a condamné bientôt cet alliage, et l'on revint au premier fixé par le cahier de charges.

Le même article impose certaines conditions d'exécution; ainsi la machine doit être munie de tuyaux à rotules *en caoutchouc* pour l'alimentation, de deux robinets et tuyaux réchauffeurs, d'une barre d'attelage, d'un cendrier, avec porte mobile placée à l'avant, ainsi que le prescrit la dernière ordonnance ministérielle, et de tous les appareils de sûreté prescrits par la police.

Les machines doivent avoir une grille dans la boite à fumée, conformément à la dernière ordonnance ministérielle, un couvercle à la cheminée, un tuyau d'échappement variable. Elles doivent être livrées complètes avec tous leurs accessoires, y compris un assortiment de clefs en fer pour tourner les écrous et les vis de la machine, les tablettes portant le nom de la machine et celles portant le numéro d'ordre. Les ressorts doivent être en acier fondu et provenir d'une usine agréée par la Compagnie.

L'article 2 traite de la fabrication des essieux des roues et des boites à graisse.

Les essieux doivent être en fer au bois et corroyé, et les bandages en fer de première qualité, de la fabrication de MM. Petin, Gaudet et Cie.

Les bandages doivent être tournés. Les six roues de la machine doivent avoir rigoureusement le même diamètre à l'extérieur des bandages et au contact du rail.

Les boites à graisse doivent être en fer forgé, trempé, et les coussinets en bronze.

Sur d'autres lignes que celles de l'Est, dans quelques machines, les bandages sont en acier puddlé ou en acier fondu.

L'article 3 indique que toutes les parties des machines à exécuter seront faites exactement sur le même modèle et sur les mêmes dimensions. En conséquence, le constructeur est tenu de se conformer rigoureusement aux plans et aux calibres approuvés par la Compagnie.

Aucun changement ni aucune modification ne peuvent être apportés sans l'autorisation de l'ingénieur en chef du matériel, sans la remise d'un plan indiquant le changement ou la modification.

Tous les pas de vis doivent être pris dans la série dont les plans sont remis par la Compagnie ou dont les étalons doivent être acquis chez le constructeur qu'elle désigne.

Une collection complète des dessins d'exécution doit être remise gratuitement à la Compagnie par les constructeurs.

L'article 4 traite de la qualité des matériaux employés à la construction des machines. Ils doivent être de la meilleure qualité et de premier choix.

Les tôles formant l'enveloppe de la boîte à feu doivent être en fer au bois provenant des fontes affinées au charbon de bois. Les tôles formant le corps cylindrique de la chaudière peuvent provenir de fontes au bois puddlées. L'emploi de tôles provenant de fonte au coke est interdit.

L'exécution doit être égale, sous tous les rapports, à celle des meilleures machines provenant des ateliers les mieux organisés.

La Compagnie peut, pour s'assurer de la qualité et de la bonne exécution des machines, procéder à toutes les épreuves qui paraîtront nécessaires, et les frais auxquels ces essais donneront lieu dans les ateliers sont à la charge des fournisseurs.

L'entrée des ateliers de construction sera toujours accordée aux agents de la Compagnie chargés de surveiller la fabrication et la construction desdites machines.

L'article 5 établit que si, pendant le cours de la construction, il se présentait des modifications avantageuses constatées par l'application sur des chemins en cours d'exploitation, la Compagnie aurait droit de les adopter pour les machines non livrées.

Les changements indiqués par l'ingénieur en chef du matériel étant de nature à modifier le prix ou entraînant le sacrifice de quelques pièces déjà confectionnées, la Compagnie devrait en être prévenue, et le constructeur ne pourrait se mettre à exécuter ces changements qu'après avoir reçu le consentement écrit du Comité de direction.

Aux termes de l'article 6, les machines devront être livrées montées, complétement terminées et marchant bien. Tous les frais de transport, montage, etc., sont à la charge du constructeur.

L'article 7 est fort important. Il réserve pour la Compagnie le droit de faire autant d'essais qu'il sera nécessaire. Ces essais doivent avoir lieu immédiatement après l'achèvement du montage sur la ligne.

Ils sont faits aux frais de la Compagnie, en présence du constructeur ou de ses agents, avec des employés agréés par lui.

La réception définitive n'a lieu qu'après un parcours effectif de 6,000 kilomètres au moins en service ordinaire. Toutes pièces venant à casser ou à être avariées, ou présentant des défauts pendant ce délai de garantie, seront remplacées par le constructeur à ses frais.

Il doit prendre à sa charge les réparations dues à des défauts de construction ou à la mauvaise qualité des matières; mais il n'a pas à supporter les frais ordinaires d'entretien.

Le traité réuni au cahier de charges contient, indépendamment des clauses qui fixent le prix de la machine, ainsi que le mode de payement, un article semblable à celui du cahier de charges pour les rails, qui détermine le mode d'arbitrage en cas de contestation entre le fabricant et la Compagnie, en un point où l'influence du fabricant ne saurait être à redouter.

Quelquefois on rédige des cahiers de charges spéciaux pour les ressorts, les plaques de garde, les roues, etc. C'est aux ouvrages tout à fait spéciaux, tels que le *Guide du Mécanicien*, qu'il faut recourir pour connaître ces cahiers de charges.

Le cahier de charges des machines à marchandises du Bourbonnais renferme un article que nous ne retrouvons pas dans celui des machines de chemins de fer de l'Est. Cet article est ainsi conçu :

Il est formellement stipulé que le poids de la machine vide n'excédera pas un maximum fixé, et que le constructeur s'appliquera à réduire ce poids autant que possible. La machine étant en service avec 15 centimètres d'eau au-dessus de la partie supérieure du foyer, le poids supporté par un essieu ne devra, dans aucun cas, excéder 11 tonnes 1/2.

Cet article nous paraît bon à insérer dans tous les cas, mais surtout quand les machines sont payées au poids.

Dans certaines machines récemment construites par la Compagnie de l'Est, on a fait diverses pièces neuves en deux métaux; l'un, servant de coquille ou enveloppe extérieure, est en fer et inusable; l'autre, l'enveloppe intérieure, est en alliage, fusible et dur, coulé dans la coquille, les pièces étant ajustées à la dimension voulue avec les outils ordinaires. C'est à ce procédé qu'on a donné le nom de *doublage*.

On se servit d'abord comme alliage du composé de plomb, d'étain et de régule d'antimoine qui sert à fondre les caractères typographiques. Aujourd'hui on l'a remplacé par un alliage composé de quatre-vingts parties de plomb et vingt d'antimoine. Afin d'obtenir une adhérence parfaite, on étame, à l'exemple des chaudronniers et ferblantiers, la partie de la coquille où doit être coulé l'alliage.

DURÉE DES MACHINES.

Quelques ingénieurs ont essayé de fixer la durée d'une locomotive.

On peut assigner une certaine durée à chacune des parties de la locomotive, mais non à la locomotive tout entière, qui pourrait servir éternellement si on en remplaçait chacune des parties au fur et à mesure qu'elles sont usées.

Durée des différentes parties de la machine. — Ainsi, d'après M. de Billy, inspecteur général des mines, auteur d'un travail fort intéressant sur la durée du matériel, inséré dans les *Annales des Mines* (tome XIV, 1858), les foyers en cuivre rouge, ayant aux chemins de fer de l'Est 0^m 012 d'épaisseur lorsqu'ils sont neufs, sont remplacés lorsque cette épaisseur est réduite par l'usure à 0^m 006. Le cuivre étant de bonne qualité et les cokes de qualités ordinaires, l'usure est de 0,0011 par 100,000 kilomètres parcourus, ce qui supposerait qu'une machine peut parcourir en moyenne 550,000 kilomètres avec le même foyer. D'habiles constructeurs et des chefs de service de traction fort expérimentés admettent néanmoins qu'un foyer, fût-il dans les meilleures conditions, doit être remplacé quand il a parcouru 500,000 kilomètres.

C'est, dit M. de Billy, que dans cette appréciation il est probablement tenu compte non-seulement de l'usure progressive et régulière, mais aussi des avaries éventuelles, qui sont d'autant plus à craindre que le foyer a plus de service et d'amincissement.

Les tubes bouilleurs en laiton durent environ cinq ans.

Quant à la durée des bandages en acier fondu, elle paraît être considérable, mais nous ne saurions lui assigner une limite exacte.

La durée des essieux droits est presque indéfinie. Il n'en est pas de même des essieux coudés. M. de Billy, d'après des observations faites sur les machines de deux réseaux différents, établit pour le parcours moyen des essieux coudés fabriqués en découpant le coude avant la rupture :

Si ce sont des machines à marchandises. . . 100,000 kilom.
— machines mixtes. . . . . . . 120,000 kilom.

On fabrique aujourd'hui des essieux en acier puddlé et acier fondu sans entamer par le découpage les fibres du fer.

Ceux-ci dureront sans doute beaucoup plus longtemps que les essieux en fer, mais on ne possède pas encore de données exactes à cet égard.

La couverture en tôle des chaudières ne dure que six ans, la peinture deux ans. La durée du mécanisme est à peu près indéfinie.

Durée de la machine entière. — Le temps pendant lequel on continue à se servir d'un même système est la seule limite que l'on pourrait assigner à la durée de la machine entière. Mais ce temps est assez court. Ainsi les Compagnies qui possèdent encore aujourd'hui des machines telles qu'on les construisait il y a une quinzaine d'années trouvent plus d'avantage à les réformer pour les remplacer par des machines d'un modèle plus nouveau, lors même qu'elles seraient encore capables de faire un service passable; ou elles se bornent à leur faire les réparations nécessaires pour éviter les accidents et leur font faire un travail excessif, ou encore elles n'en font usage que pour les terrassements. C'est ainsi que petit à petit le vieux matériel fait place à un matériel nouveau.

Durée des différentes parties d'un waggon. — Il en est des wag-

gons comme des machines. On ne saurait fixer la limite de leur durée.

D'après M. de Billy, les bandages à waggons en fer dur de première qualité ne sont généralement mis au rebut qu'après avoir parcouru 150,000 kilomètres environ, et lorsque leur épaisseur totale s'est trouvée réduite de 0,040 à 0,018.

La caisse en bois dure environ vingt ans.

La durée des panneaux en tôle est indéfinie.

La couverture en zinc dure environ dix ans.

La peinture deux ans.

Les garnitures en drap des waggons de première classe cinquante-deux mois.

Celles en coutil des waggons de deuxième classe quarante-deux mois.

Les tapis de pied deux ans.

CONSOMMATION EN COMBUSTIBLE.

La consommation en combustible des machines locomotives varie selon le mode de construction de la machine, la nature du combustible employé, l'habileté du mécanicien et la saison, la résistance opposée à leur marche, l'état des rails, etc.

Combustibles employés. — On emploie comme combustible dans les locomotives :

La houille en nature,
Des briquettes de houille,
Le bois,
Le coke,
L'anthracite,
La tourbe.

Houille. — La houille en nature produit presque toujours plus ou moins de fumée, surtout au moment du stationnement des machines. Toutefois on en fait souvent usage par raison d'économie pour les trains de marchandises et même pour ceux de voyageurs. En Suisse, par exemple, sur le Chemin central, on ne brûle que de la houille de Sarrebruck pour les trains de voyageurs, aussi bien que pour ceux de marchandises.

On a essayé différents appareils pour brûler la fumée de la houille dans les locomotives : nous les décrirons plus loin.

Les houilles pour locomotives doivent être d'une certaine grosseur et d'une certaine densité ; elles ne doivent être ni trop grasses ni trop sèches, et doivent donner le moins de cendres et de parties sulfureuses possible.

Briquettes. — Les briquettes se composent de petits fragments de houille, réunis par un ciment de goudron. On en fait grand usage sur certains chemins. Elles ont un inconvénient, celui de produire une certaine quantité de fumée provenant du goudron servant de ciment.

Bois. — On fait un grand usage de bois dans certains pays, aux États-Unis et dans quelques parties de l'Allemagne. Ce combustible produisant de nombreuses étincelles, les cheminées des machines où il est employé doivent présenter les dispositions particulières que nous avons décrites.

Coke. — Le coke des locomotives doit être compacte, pur, peu sulfureux, et ne contenir qu'une faible proportion de cendres. On diminue la proportion de cendres renfermée dans la houille, et par suite celle renfermée dans le coke qui en provient, en lavant la houille. Les bons cokes ne laissent pas à la combustion plus de 6 pour 100 de cendres; à 8 pour 100, ils sont d'une qualité médiocre; à 10 pour 100 ils deviennent mauvais.

Anthracite. — L'anthracite est une espèce de houille très-sèche, brûlant très-difficilement. Certaines variétés d'anthracite, quelque difficulté qu'elles présentent à la combustion, n'en sont pas moins employées avec avantage aux États-Unis, dans des foyers particuliers.

Tourbe. — La tourbe est un combustible généralement léger et impur. On l'emploie cependant pour le chauffage des locomotives dans plusieurs parties de l'Allemagne, notamment en Bavière. On lui donne alors une densité suffisante au moyen de la compression.

Mesure de l'effet produit par les combustibles. — On mesure l'effet produit par un combustible quelconque dans une locomotive par la quantité de vapeur produite avec une même surface de chauffe, ou par la charge traînée sur une pente donnée.

Réduction de la consommation par la détente. — La consom-

mation en combustible dans les premières machines locomotives à chaudière tubulaire, bien qu'inférieure à celle des anciennes machines, était encore considérable. On l'a très-sensiblement réduite par l'emploi de la détente et de l'échappement, ou du tirage variable.

Ainsi l'emploi de la détente variable seul a réduit la dépense par kilomètre de 15 kilogrammes à 6 kilogrammes.

Quantité d'air exigée pour la combustion du coke. — M. Clark admet qu'un kilogramme de coke pur exige pour sa combustion :

En poids, 12 kilogrammes d'air;

En volume, 45 mètres cubes à 60 degrés;

En pratique, il faut admettre un excédant de 25 pour 100.

La température de la boîte à feu au milieu du combustible atteint 1,375 degrés : celle de la boîte à fumée de 185 à 370 degrés.

Puissance d'évaporation du coke. — La puissance calorifique de 1 kilogramme de coke pur complétement brûlé égale 2,025 unités de chaleur, et peut convertir en vapeur 12 kilogrammes d'eau à 60 degrés.

Le bon coke en pratique n'évapore pas plus de 8 à 8 1/2 kilogrammes d'eau, ou dans les conditions les plus favorables 9 1/2, c'est-à-dire 78 pour 100 de la quantité théorique.

On ne doit, pour les locomotives, compter que sur 5 à 6 kilogrammes d'eau évaporée par kilogramme de coke.

Puissance d'évaporation du bois. — La puissance évaporante du pin d'Amérique dans les locomotives varie de 1/2 à 2/5 de celle du meilleur coke, c'est-à-dire que 1 kilogramme de ce bois évapore environ 2 1/2 kilogrammes d'eau.

L'infériorité du bois comme combustible provient surtout de l'irrégularité de la combustion.

Influence de la friabilité du coke sur la consommation. — La friabilité du coke exerce une influence sensible sur la consommation, aussi bien que le contenu en cendres. Si le coke est très-friable, le courant d'air peut en emporter de 17 à 20 pour 100 dans les tubes.

Eau contenue dans le coke. — Le coke absorbe en moyenne dans les temps humides 8 pour 100 d'eau. L'absorption peut atteindre exceptionnellement 20 pour 100.

Puissance d'évaporation relative du coke, du charbon et du bois. — On a trouvé, suivant M. Clark, que, pour évaporer une même quantité, il fallait employer en volume :

1 de charbon,

1, 3 de coke,

Et 6 de bois de pin.

Consommation des machines par kilomètre parcouru. — La comptabilité des Compagnies n'étant pas tenue de la même manière, il est impossible d'en extraire des chiffres de consommation du combustible pour les locomotives comparables entre eux. Nous nous sommes donc borné à reproduire, d'après le *Guide du Mécanicien*, le tableau de l'allocation faite aux mécaniciens par kilomètre parcouru sur deux de nos grandes lignes, entre lesquelles il existe de notables différences dans les conditions du parcours et dans la qualité du combustible. L'allocation comprend : l'allumage et le stationnement.

Au chemin du Nord, la qualité est assez bonne et assez constante; les sections de parcours offrent d'ailleurs relativement des conditions assez identiques entre elles. On s'est donc borné, dans les allocations faites aux mécaniciens, à considérer seulement le type de la machine, le nombre de voitures remorquées et la saison.

Voici le tableau pour ce chemin :

NATURE DES MACHINES.	ÉTÉ.	HIVER.
Machines à voyageurs, selon le type (le nombre de voitures étant 12 dans un cas et 15 dans l'autre.	kilogr.	kilogr.
Allocation de *coke*.	6 à 7,50	6 à 7,50
Machines mixtes, avec au plus 18 voitures. . . .	8,00	8,50
Machines Crampton, avec au plus 12 voitures. . .	8,00	8,50
Mixtes-Engerth, avec 18 voitures au plus.	8,00	9,00
Machines à marchandises, selon le type, *houille*. .	9 à 12	10 à 13
Machines à marchandises Engerth, id.	16,00	18,00

Il est accordé en outre aux trains de voyageurs un supplément

de $1^k,50$ pour les trains ayant de une à trois voitures en sus du nombre ci-dessus, et 3 kilogrammes si l'excédant est de quatre voitures et au delà.

Il est alloué aux machines de réserve 250 kilogrammes pour l'allumage, et 10 kilogrammes par heure de réserve.

Enfin les machines allant à vide ont droit par kilomètre :

Les machines à voyageurs, à $4^k,50$; les machines à marchandises, à 5 kilogrammes.

Dans tous les cas, la prime d'économie est, pour le coke ou la houille, fixée à 6 francs par tonne économisée ; mais l'excédant de consommation donne lieu, s'il n'est justifié, à une amende de 1 franc par tonne pour le mécanicien et 33 centimes pour le chauffeur.

Au chemin de fer de l'Est, où les conditions du parcours et du climat offrent de notables différences de nature à influer sur les consommations, et où les combustibles, très-variables de qualité, sont en somme généralement médiocres, les allocations varient elles-mêmes, suivant les sections de la ligne.

NATURE DES MACHINES.	ÉTÉ.	HIVER.
COKE DE PRUSSE, MOITIÉ LAVÉ, MOITIÉ NON LAVÉ.	kilogr.	kilogr.
Machines à voyageurs ordinaires.	6 à 9,50	7,50 à 9,25
Machines Crampton.	8 à 9	9 à 10,80
Machines mixtes à 4 roues couplées, ayant 100^{m2} de surface de chauffe.	8 à 10	9 à 11,25
HOUILLE DE PRUSSE TRÈS-IMPURE.		
Machines à marchandises ordinaires, 100^{m2} de surface de chauffe.	12 à 16	15 à 15
Machines mixtes remorquant des trains de marchandises.	12,20	15,25
Machines Engerth sur tout le réseau.	20,00	25,00

Nous avons dit qu'il était à peu près impossible de séparer la consommation en marche des consommations accessoires; cepen-

dant, en Belgique, on s'applique à faire ressortir séparément chacun des éléments de cette dépense; il y a certainement un peu d'arbitraire dans cette répartition, mais cet exemple n'est pas moins instructif. Le chiffre de consommation kilométrique de 1848 se partage ainsi :

1° Pour le parcours.	8k,25
2° Pour le stationnement.	0 93
3° Pour l'allumage.	1 16
4° Pour le service.	0 34
Total.	10k,68

Le rapport des consommations accessoires à la dépense totale est de 23 pour 100.

Des expériences faites sur le chemin d'Orléans ont donné comme consommation : pour allumage et mise en pression, 51 kilogrammes de coke; pour stationnement, 6k,15 par heure.

Ces chiffres sont du minima; en pratique, il faudrait compter au moins :

Allumage.		60 kilog.
Stationnement	par heure	7 —

CHAPITRE XIV

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE CERTAINS TYPES DE MACHINES

INTRODUCTION

Nous nous proposons de donner dans ce chapitre la description d'un certain nombre de machines remarquables choisies parmi celles qui font le meilleur service.

Comme machines à grande vitesse, nous décrirons la machine Crampton anglo-française avec essieux fixes, et la machine Crampton badoise à train articulé; la machine Mac-Connel, et la machine à trois cylindres de Stephenson.

Comme machines à moyenne vitesse : la machine à voyageurs (roues indépendantes) d'Orléans, employée aussi pour les trains à grande vitesse, et la machine allemande de Borsig; la machine à voyageurs (mixte) d'Orléans, celle de l'Est et la machine mixte Engerth du Nord.

Comme machines à marchandises : la locomotive à marchandises d'Orléans, la locomotive Engerth du Nord, la nouvelle machine Engerth modifiée de l'Est, et la locomotive pour fortes rampes du Nord.

Comme locomotive-tender : la locomotive-tender d'Orléans et de l'Est, celle d'Auteuil.

Nous terminerons enfin le chapitre par la description des locomotives employées aux Etats-Unis, tant pour le transport des voyageurs que pour celui des marchandises.

LOCOMOTIVES A GRANDE VITESSE.

SYSTÈME CRAMPTON

TYPE DU CHEMIN DU NORD

Conditions générales d'établissement.

Les premières locomotives à grande vitesse, système Crampton, qui aient paru en France ont été commandées par la Compagnie du Nord à la maison Cail et Cie, en 1848. Elles ont permis d'organiser, dès l'année 1849, entre Paris et Calais, et correspondant avec Londres, des trains express marchant à des vitesses encore inusitées.

Les locomotives à grande vitesse du Nord remorquent, sur les lignes principales, à rampes de *quatre* et *cinq* millimètres, par des temps ordinaires, des convois de douze voitures à une vitesse moyenne, stationnements compris, de 60 kilomètres à l'heure.

La machine est montée sur trois paires de roues; les roues motrices ont, selon les séries de machines, de $2^m,10$ à $2^m,30$ de diamètre; les cylindres sont extérieurs aux roues et placés vers le milieu de la longueur de la chaudière; tout le mécanisme est extérieur.

Les dimensions ou données principales sont consignées dans le tableau suivant :

LOCOMOTIVE.

Grille.	Longueur.	$1^m,382$
	Largeur.	1 052
	Surface.	$1^{m2},450$
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille.		$1^m,288$
Tubes.	Nombre.	175
	Longueur.	$3^m,657$
	Diamètre extérieur.	0 050
	Épaisseur.	0 002

Surface de chauffe	Foyer		7m²,000
	Tubes		91 420
	Total		98 420
Diamètre intérieur du corps cylindrique			1m, 204
Nombre de cylindrées de vapeur disponibles			11 ,300
Hauteur de l'axe de la chaudière au-dessus des rails			1m, 585
Tension de la vapeur			7at
Diamètre des cylindres			0m, 420
Course des pistons			0 550
Course des excentriques			0 184
Lumières	Longueur		0 300
	Largeur	Entrée	0 050
		Sortie	0 090
Pompes alimentaires	Diamètre		0 055
	Course		0 550
Manivelle motrice, rayon			0 275
Diamètre des roues	1 Avant		1 348
	2		1 217,5
	3 Moteur		2 100
Écartement des essieux	1. . .2		2 520
	2. . .3		2 570
Poids de la machine	Pleine		29t, 200
	Vide		26t, 100
Pression des deux roues d'un même essieu sur les rails au départ	1 Avant		10 600
	2		8 000
	3		10 600

TENDER.

Diamètre des roues		1m, 217,5
Écartement des essieux		2 500
Contenance en eau		7t, 100
— en coke		1 500
Poids de l'outillage		500k
Poids total du tender	Plein	18t, 700
	Vide	9 900
Pression des deux roues d'un même essieu sur les rails au départ	1 Avant	9 600
	2	9 100

MACHINE ET TENDER ACCOUPLÉS.

Longueur totale de tampon à tampon		13m, 784
Écartement des essieux extrêmes		10 318
Distance horizontale des pièces les plus saillantes à l'axe de la voie	Machine	1 372
	Tender	1 320
Distance aux rails des pièces les plus élevées		4 120
Distance aux rails des pièces les plus basses	Intérieur des rails	0 080 M
	Extérieur des rails	0 105 M

Vitesse des trains, stationnement compris, en kilomètres, l'heure		60k
Poids réglementaire des convois remorqués	Ordinaire.	97t
	Maximum.	130
Nombre de voitures remorquées	Ordinaire.	12
	Maximum.	16
Allocation réglementaire en coke par kilom.	Ordinaire.	8k,5
	Maximum.	11 5
Prix de la machine		65,000f
Prix du tender		13,000
Effort de traction $\frac{P d^2 L}{D}$		2,772k
Adhérence ou poids sur les roues motrices		10,600

La consommation en combustible est en moyenne de 8 kilog. par kilomètre parcouru.

Détails d'exécution.

Chaudière. — La chaudière est de la forme spéciale dite *Crampton :* sans dôme et sans renflement au-dessus de la boîte à feu, avec boîte à fumée dans le prolongement du corps cylindrique. Elle est montée sur les longerons à dilatation libre de l'arrière vers l'avant.

Le tuyau de prise de vapeur est placé horizontalement à la partie supérieure du corps cylindrique; il en occupe toute la longueur; il est fendu à la génératrice supérieure sur tout son développement, de manière à puiser la vapeur sur tous les points; il débouche, vers l'avant, dans la boîte du régulateur placée à l'extérieur. La vapeur se rend aux deux boîtes à tiroirs par deux tuyaux contournant le corps cylindrique et parfaitement enveloppés pour éviter le refroidissement.

Le régulateur des machines Crampton mérite une mention particulière.

Il est logé dans une boîte en fonte placée sur le corps cylindrique, fermée à sa partie supérieure par un couvercle plat et présentant à la partie inférieure une sorte de tubulure dans laquelle vient passer le tuyau de prise de vapeur, qui se prolonge de part et d'autre sur toute la longueur de la chaudière; les tuyaux qui conduisent la vapeur aux cylindres juxtaposés à la chaudière viennent s'embran-

cher sur les côtés de cette boîte, dans laquelle ils débouchent chacun par des lumières de forme pentagonale ; un tiroir, soit simple, soit double, commandé par une tige unique, couvre et démasque à la fois ces lumières ; la forme de celles-ci permet de ne donner à la vapeur qu'une issue extrêmement étroite au départ du tiroir, avantage qui n'est pas obtenu avec les lumières ordinaires.

Le régulateur est placé sur l'orifice externe de la conduite ou intercalé dans une partie de son parcours. Quelques constructeurs l'ont placé dans la boîte à fumée. Si, au point de vue théorique, cette disposition offre quelque avantage, elle a, d'un autre côté, de graves inconvénients : elle augmente le volume de la culotte de distribution ; les joints sont altérés par l'action du feu ; le montage et le démontage en sont difficiles ; le tiroir grippe sur sa table, etc.

L'échappement employé est l'échappement à valves.

La grille est munie d'un jette-feu à la main du mécanicien.

A côté du sifflet d'alarme est placé, comme sur les autres machines à voyageurs, un sifflet d'avertissement qui peut être mis en jeu de tous les points du train.

Les tubes sont à épaisseur variable, montés avec viroles dans la boîte à feu, et sans virole dans la boîte à fumée.

La chemise en bois contre le refroidissement est recouverte de feuilles de tôle peinte et vernie, ou de feuilles de laiton brillant.

La cheminée est garnie d'un robinet souffleur pour activer le tirage en stationnement et pour abréger la mise en feu.

Mécanisme. — Le mouvement de distribution emprunte la coulisse Stephenson : la détente et le changement de marche s'obtiennent en relevant les barres d'excentriques.

Dans le mouvement de propulsion il y a lieu de signaler :

1° L'emploi de bielles motrices simples ;

2° Les pompes alimentaires dans le prolongement des cylindres et les plongeurs formés par un prolongement de la tige de piston.

Bâtis et roues. — Le bâtis est du système dit *mixte*, et formé de quatre longerons : deux intérieurs aux roues et deux extérieurs solidement entretoisés et renfermant les cylindres.

Les plaques de garde d'arrière ou plaques de garde motrices font corps avec les longerons intérieurs; les plaques de garde du milieu et d'avant sont supportées après les longerons extérieurs.

Les boîtes à graisse motrices sont en fer cémenté et trempé, avec coins de serrage; celles du milieu et d'avant sont en fonte.

Les fusées des essieux moteurs sont intérieures, et jouent entre les plaques de garde faisant partie des longerons intérieurs; celles des essieux de support sont extérieures et jouent entre les plaques de garde rapportées aux longerons extérieurs.

Toutes les roues sont en fer forgé.

A la manivelle motrice se rattache une contre-manivelle qui reçoit les poulies d'excentriques.

Tenders. — Les tenders des locomotives à grande vitesse contiennent 7 mètres cubes d'eau, de manière à permettre de faire de grands trajets sans réapprovisionnement.

Le tender est porté sur deux paires de roues; les longerons sont extérieurs; les ressorts de suspension extérieurs aux longerons; les boîtes à graisse en fonte.

Deux genres différents de freins ont été appliqués aux tenders à grande vitesse de la Compagnie du chemin de fer du Nord :

1° Un frein à quatre sabots portés sur des barres-guides rattachées aux boîtes à graisse. Ces freins sont mis en mouvement tantôt par une vis, tantôt au moyen d'engrenages ressemblant à un mouvement de cric;

2° Un frein à quatre sabots suspendus au châssis au moyen de bielles. Les pièces porte-sabots sont articulées sur ces bielles de manière que le sabot puisse toujours épouser parfaitement la forme de la roue dans toutes les positions. Ces freins sont mis en mouvement au moyen d'un mouvement de cric.

Récemment on a aussi essayé l'application de freins à vapeur à réaction agissant sur les deux paires de roues d'avant de la locomotive, afin d'augmenter la puissance d'arrêt des trains.

TYPE DU CHEMIN DE L'EST

Ces machines sont construites sur le type de celles du Nord ; les dispositions générales sont conservées, mais les dimensions ont été modifiées. En voici les principales :

Surface de la grille		1m²,290
Surface de chauffe du foyer		7 600
—	des tubes	88 920
—	totale	96 . 520
Nombre de tubes		180
Diamètre des pistons		0m, 400
Course des pistons		0 560
Diamètre des roues motrice		2 300
—	d'avant	1 350
—	du milieu	1 200
Distance d'axe en axe des essieux extrêmes		4 500
Poids de la machine vide		24t
— —	chargée de coke et d'eau	27. 1/2

Le service de ces machines consiste à remorquer les trains express et poste, composés en général de neuf à dix voitures, et quelquefois de douze à quinze.

La vitesse varie de 55 à 75 kilomètres à l'heure ; la consommation de coke de Sarrebruck est de 8 à 9 kilos par kilomètre.

Comme au chemin du Nord, les machines Crampton, au chemin de l'Est, font un excellent service. Leur stabilité est parfaite, même lorsque les pièces principales, telles que bielles, essieux, coussinets, ont pris du jeu.

L'entretien est incontestablement moins coûteux que celui des autres machines faisant le même service.

TYPE ALLEMAND

Nous avons déjà indiqué, page 401, que dans ces machines, destinées à remorquer des trains de voyageurs à grande vitesse dans des courbes de petit rayon, l'avant-train était mobile, comme dans les machines américaines. Les roues motrices sont, comme dans les

machines Crampton des chemins du Nord et de l'Est, placées à l'arrière du foyer, et les cylindres au milieu de la longueur du bâti. Le châssis est extérieur.

Dans un article sur les machines de l'exposition parisienne, M. Nozo, directeur de l'atelier de construction et réparation des locomotives au chemin du Nord, critique la disposition des boîtes à graisse et des excentriques placés, dans la machine badoise, entre les roues motrices et les bielles. Cette disposition, dit M. Nozo, a nécessité un écartement considérable des cylindres qui doit avoir des conséquences préjudiciables à la stabilité en marche de la machine et à la conservation des boîtes à graisse, auxquelles il est difficile d'ailleurs de donner une longueur suffisante pour éviter le chauffage dans la marche à grande vitesse.

La chaudière de cette machine, différant essentiellement de celle des locomotives Crampton française ou anglaise, porte, outre un dôme-réservoir de vapeur au-dessus de la boîte à feu, un autre petit dôme de prise de vapeur situé au milieu de la chaudière, dans lequel on n'arrive à mettre le régulateur en mouvement qu'à l'aide d'un mécanisme ingénieux, mais un peu compliqué.

Les boîtes à graisse des machines badoises sont munies sur le devant de petites portes qui permettent de visiter les essieux en marche avec beaucoup de facilité.

Le train articulé ne tire pas l'arrière-train, comme dans les voitures ordinaires. Il est au contraire poussé par lui. Cette condition doit nécessairement causer une certaine incertitude dans le mouvement de translation. Pour la limiter et prévenir le danger de déraillement, le train articulé et le train fixe de la locomotive sont liés l'un à l'autre au moyen de chaînes de sûreté qui se tendent fortement dans la plus grande convergence des deux trains correspondant au plus petit rayon des courbes à franchir (260 mètres).

La plupart des pièces, et notamment les essieux de l'avant-train, sont en acier fondu. Les roues motrices sont en fer forgé.

Bien que la machine badoise semble laisser encore beaucoup à désirer tant sous le rapport des conditions géométriques du mouvement que sous celui de la parfaite sûreté *à grande vitesse*, les ingénieurs badois affirment qu'elle a déjà réalisé de grands par-

cours sans accident en marchant à la vitesse de 64 kilomètres par heure et en remorquant une charge de 75 tonnes. La charge brute *moyenne*, non compris le poids du tender, ne dépasse pas toutefois 62 tonnes 1/2.

Le poids et les principales dimensions des machines badoises sont les suivants :

Diamètre des cylindres.[1]		0m,38
Course des pistons		0 61
Diamètre des roues motrices		1 80
Écartement des essieux extrêmes		3 95
Charge sur les essieux.	Moteur	10t 1/3
	Milieu	5 2/3
	Avant	10
Poids total de la machine en service		26
Nombre des tubes		168
Longueur		3m,547
Diamètre extérieur		0 04
Surface de chauffe	Tubes	82m²,80
	Foyer	5 80
	totale	88 60

SYSTÈME MAC-CONNELL

TYPE FRANÇAIS.

La figure 472, page 398, et la description qui l'accompagne donnent une idée assez nette de la machine Mac-Connell. Les détails suivants complètent cette description.

Cette machine présente un foyer de 3m,60 de longueur, divisé en deux compartiments, suivi d'une chaudière tubulaire renfermant 414 tubes de 0m,025 de diamètre. Les roues motrices ont 2,160 de diamètre, et leur essieu est logé dans un relèvement de la chaudière. L'essieu d'avant porte 8,300 kilogrammes, l'essieu moteur 9,000 kilogrammes, et l'essieu d'arrière 4,300 kilogrammes. Son tuyau d'échappement s'ouvre à 0m,25 plus bas que la cheminée, tandis que, dans nos machines, le tuyau d'échappement entre de 0m,07 à 0m,11 dans la cheminée. La somme de la section des tubes est à peu près la même que dans nos machines; elle est très-légère.

Cette machine est timbrée à 8 atmosphères, et cependant les épaisseurs de tôle ne sont que de $0^m,018$, ou même de $0^m,010$, et les plaques de cuivre du foyer sont beaucoup plus minces qu'en France, ce qui la rend très-légère. Si en France les épaisseurs de tôle et celles des plaques de cuivre sont plus grandes, cela tient surtout aux exigences des règlements. On pourrait aisément et sans danger réduire ces épaisseurs, à la seule condition d'employer des matières premières de qualité supérieure, et rapprochant les entretoises qui réunissent les deux enveloppes du foyer.

L'usage de foyer plus mince, tout en diminuant un peu la dépense première d'établissement, augmenterait celle d'entretien; mais on y trouverait surtout le grand avantage de réduire la consommation en combustible, puisque dans les machines Mac-Connell cette consommation n'est que de 5 kilogrammes par kilomètre parcouru, alors qu'elle serait avec les machines Crampton, dans les mêmes conditions, de 7 à 8 kilogrammes.

La machine Mac-Connell fait depuis plusieurs années un bon service au chemin du Nord; mais elle a un peu moins de stabilité que la machine Crampton, moins d'adhérence et moins de puissance. Il est probable aussi que les frais d'entretien de cette machine seraient plus élevés que ceux de la machine Crampton; mais, comme au chemin du Nord on a fait à cette machine plusieurs changements, tels, par exemple, que le remplacement des ressorts en caoutchouc par des ressorts en acier, et celui des essieux creux par des essieux pleins, changements dont la dépense a été confondue avec la dépense d'entretien, on ne peut rien affirmer à cet égard.

En Angleterre, il y a vingt-cinq de ces machines qui conduisent les express, et qui rivalisent, de Londres à Liverpool, avec les machines du Great Western.

Voici quels sont les poids et les différentes dimensions de la machine et du tender :

MACHINE.

Grille (il y a deux grilles).	Longueur.	$1^m,155$
	Largeur..	1 000
	Surface.	$1^{m2},155$

Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille			1m,430
Tubes	Nombre		414
	Longueur		1m,830
	Diamètre extérieur		0 031
	Épaisseur		0 0015
Surface de chauffe	Foyer		15m²,589
	Tubes		66 640
	totale		82 229
Diamètre intérieur du corps cylindrique			1 200
Nombre de cylindrées de vapeur disponibles			10,200
Hauteur de l'axe de la chaudière au-dessus des rails			1m,913
Tension de la vapeur			7at
Diamètre des cylindres			0m,380
Course des pistons			0 560
Course des excentriques			0 120
Lumières	Longueur		0 375
	Largeur	Entrée	0 041
		Sortie	0 083
Pompes alimentaires	Diamètre		0 050
	Course		0 560
Manivelle motrice, rayon			0 280
Manivelle d'accouplement, rayon			»
Diamètre des roues	1 Avant		1 160
	2 Motrice		2 160
	3 Arrière		1 160
Écartement des essieux	1 . . 2		2 279
	2 . . 3		2 132
Poids de la machine	Vide		19t,500
	Pleine		21 600
Pression des deux roues d'un même essieu sur les rails au départ	1 Avant		8 300
	2		9 000
	3		4 300

TENDER.

Diamètre des roues		1m,160
Écartement des essieux		2 436
Contenance en eau		4m³,500
— en coke		1 000
Poids de l'outillage		300k
Poids total du tender	Plein	12t,800
	Vide	7 000
Pression des deux roues d'un même essieu sur les rails au départ	1 Avant	6 400
	2	6 400

MACHINE ET TENDER ACCOUPLÉS.

Longueur totale de tampon à tampon.			12^m,010
Écartement des essieux extrêmes.			8 689
Distance horizontale des pièces les plus saillantes à l'axe de la voie.	Machine.		1 160
	Tender.		1 320
Distance aux rails des pièces les plus élevées.			4 080
Distance aux rails des pièces les plus basses.	Intérieur des rails.		0 155
	Extérieur des rails.		0 330
Vitesse des trains, stationnement compris, kilom. à l'heure.			60
Poids réglementaire des convois remorqués.	Ordinaire	7 voitures.	55 t.
	Maximum		
Allocation réglementaire en coke par kilom.	Ordinaire.		»
	Maxima.		7^k,500
Prix de la machine.			55,000
Prix du tender.			11,500

SYSTÈME A TROIS CYLINDRES.

TYPE DE STEPHENSON.

Cette machine est disposée de manière à obtenir une très-grande stabilité, même en marchant à de très-grandes vitesses, sans faire usage de contre-proids. Elle fonctionne parfaitement sur le chemin de York à Newcastle.

Des trois cylindres, deux sont en dehors et un troisième à l'intérieur. L'axe de ce dernier coïncide exactement avec celui de la machine. Les trois cylindres sont horizontaux. Les tiroirs sont latéraux et verticaux. Le coude de l'essieu moteur faisant effet de manivelles extérieures, les masses en mouvement de l'un et de l'autre côté de l'axe se contre-balancent exactement. Le mouvement de lacet est entièrement annulé. Il ne reste que celui de tangage.

La chaudière est construite comme le sont généralement les chaudières qui sortent aujourd'hui des ateliers de Stephenson. La prise de vapeur se fait sous un dôme cylindrique. Le foyer est divisé en deux compartiments par un bouilleur parallèle aux faces antérieures et postérieures.

Le nombre des roues est de six; les roues motrices sont au milieu; les roues porteuses aux extrémités : une paire derrière la boîte à feu, l'autre derrière la boîte à fumée. Les roues motrices sont dépourvues de bourrelets.

Le châssis est double. Les fusées sont extérieures pour les roues porteuses, intérieures pour les roues motrices. Les longerons et une traverse placée en arrière des roues d'avant sont en tôle; les traversines extrêmes sont en bois. Les longerons intérieurs sont fixés par une de leurs extrémités à la boîte à feu, et par l'autre à la traverse de devant.

Les corps de pompe étant fixés derrière la boîte à feu, les tiges des plongeurs sont mises en mouvement par les excentriques de la marche en arrière.

Les tiroirs sont manœuvrés par deux coulisses, l'une pour le tiroir du cylindre intérieur, et l'autre pour ceux des cylindres extérieurs. Cette dernière agit sur un arbre transversal, au moyen duquel on la met en relation avec les tiges des tiroirs.

Les tiroirs sont réglés comme le sont généralement ceux des machines à voyageurs de Stephenson.

Voici enfin quelles sont les principales dimensions de cette machine :

Boîte à feu.	Largeur intérieure	1^{m}	,10
	Longueur de chacun des compartiments	1	15
	Hauteur des parois extrêmes	1	523
Écartement des parois intérieures et extérieures des boîtes		0	070
Écartement des deux parois du bouilleur.	Dans le haut	0	101
	Dans le bas	0	088
Surface de la grille		1^{mq}	,10
Surface de chauffe par rayonnement		10	00
Corps cylindrique.	Longueur	3^{m}	,35
	Diamètre	1	12
	Longueur des tubes	3	43
	Diamètre intérieur	0	047
	Nombre des tubes	170	
	Diamètre des tubes	0	05
Surface de chauffe par contact		88^{mq}	,50
Cylindres.	Diamètre du cylindre intérieur	0	27
	Diamètre des cylindres extérieurs	0	42
	Course des grands pistons	0	46
	Course des petits	0	56

Roues.	Diamètre des roues motrices	2m	,05
	Diamètre des roues porteuses	1	14
	Écartement des roues extrêmes	4	27
	Charge sur les roues motrices	12t	
	— — de devant	9	
	— — d'arrière	6	
Poids total de la machine		27	
Diamètre des essieux au milieu		0m	,15
— de l'essieu moteur		0	17
— de l'orifice d'échappement		0	13
— du plongeur des pompes		0	08
Épaisseur des parois latérales extérieures du foyer		0	017
— de la plaque supérieure		0	011
— des parois intérieures de la boite à feu		0	016
— de la plaque tubulaire		0	022
— de l'enveloppe du corps cylindrique		0	011
— des tubes plats		0	019
— de la boite à fumée		0	010

MACHINES A MOYENNE VITESSE

SYSTÈME A ROUES INDÉPENDANTES.

TYPE DU CHEMIN D'ORLÉANS.

Description générale. — Les cylindres, dans cette machine, construite par M. Polonceau, sont extérieurs et horizontaux. On les a placés horizontalement afin d'éviter le balancement que produisent les cylindres inclinés. Les tiroirs sont verticaux.

Le châssis employé est, comme dans les machines Buddicom, le châssis mixte.

Attachés aux bâtis, les cylindres présentent, par suite de l'écartement de leur double attache, une grande stabilité et peuvent être facilement démontés.

La distribution de la vapeur est opérée au moyen de la coulisse renversée, dont nous avons indiqué les avantages page 496.

La coulisse n'est pas suspendue, comme elle l'est dans un grand

nombre de machines, à des bielles oscillantes. Maintenue entre deux guides, elle n'a qu'un mouvement horizontal qui détruit les perturbations.

Distribution. — Dans quelques machines M. Polonceau a essayé un nouveau système de distribution de vapeur. Voici quel est ce système.

M. Polonceau emploie deux tiroirs superposés. Le tiroir inférieur est une plaque percée de trous, avec saillies formant recouvrement. Le tiroir supérieur est une plaque évidée reposant immédiatement sur le tiroir inférieur.

Ces deux tiroirs sont conduits par une seule coulisse *fixe* composée de deux coulisses juxtaposées liées entre elles invariablement. Les tiges de chacun des tiroirs sont liées par des articulations à des bielles terminées par des coulisseaux qui se logent dans les coulisses juxtaposées. On peut, en soulevant ou abaissant les bielles, changer les courses des deux tiroirs indépendamment l'une de l'autre.

Le tiroir supérieur, selon que sa course est plus ou moins longue, ferme les lumières du tiroir inférieur et intercepte l'introduction de la vapeur pendant plus ou moins de temps. On peut donc, à l'aide de ce tiroir, varier la détente comme on la varie avec les blocs dans le système Mayer, où l'avance à échappement reste invariable, tandis que, dans les machines Polonceau, on peut l'augmenter ou la diminuer en changeant la course du tiroir inférieur.

Du mouvement combiné des deux tiroirs il résulte que les ouvertures de lumières sont très-grandes et restent longtemps ouvertes; que la vapeur est coupée brusquement par une marche rapide et même contraire des deux tiroirs.

Corps cylindrique. — Le cercle du corps cylindrique de la chaudière est de plus petit diamètre que celui de l'enveloppe du foyer, afin d'éviter les épaisseurs de tôle inutiles. La pression est de huit atmosphères.

Pompes. — Sous les clapets d'aspiration des pompes se trouve un réservoir d'air qui a pour objet de faciliter le jeu des pistons en détruisant la résistance que fait naître l'inertie de l'eau contenue dans le tuyau d'aspiration, résistance que les pompes ont à vaincre à chaque coup.

La traverse d'avant des locomotives, qu'on est obligé de démonter chaque fois qu'il est nécessaire de visiter les cylindres, a été rendue pivotante autour du crochet d'attelage, de manière à permettre de visiter facilement les pistons et réparer les joints des couvercles en stationnement.

Un paravent placé dans le haut de la cheminée est destiné à

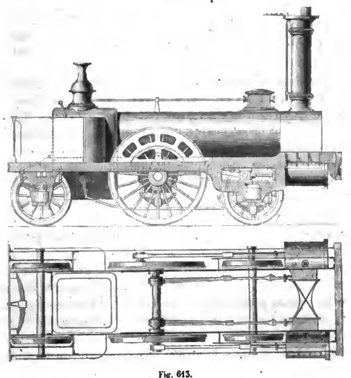


Fig. 613.

empêcher le rétrécissement de la colonne d'air chaud au sortir de la cheminée, par suite de l'inflexion brusque que lui fait prendre la vitesse de la marche.

Ce paravent, non-seulement empêche l'effet nuisible que nous indiquons, mais encore il forme un appel par suite du déplacement de l'air qu'il rencontre. Son effet sur le tirage est très-sensible.

La charge des roues d'avant exposait assez fréquemment leurs fusées à chauffer dans le cas des grandes vitesses. On a injecté sur les boîtes à graisse un jet d'eau par l'effet des pompes alimentaires, qui prévient très-efficacement cet échauffement, et les fusées prennent même bientôt un très-beau poli.

Le diamètre des roues motrices de la machine à voyageurs d'Orléans est calculé de manière à permettre une vitesse égale ou à peu près à celle des machines Crampton. Mais la puissance n'est pas égale à celle de ces dernières, en sorte que, la machine Crampton traînant 15 waggons à une vitesse de 60 kilomètres par heure, la machine d'Orléans n'en peut traîner que 12.

Consommation en combustible. — La consommation en combustible des machines d'Orléans est de 5 kilog. 30 par kilomètre avec des trains dont la charge moyenne est de 70 tonnes. Tel est le résultat d'une marche de 16,600 kilomètres. Cette consommation comprend tout le coke employé pour l'allumage et celui brûlé dans les stationnements d'un service ordinaire.

Vitesse. — La vitesse moyenne entre les stations des trains omnibus remorqués par ces machines est de 45 kilomètres par heure; des trains express de 60.

Pression. — La pression dans la chaudière est la même que pour les machines à marchandises (8 atmosphères).

Robinets. — Dans les machines construites par M. Polonceau pour la ligne d'Orléans, on a employé des robinets à cône formant soupape, qui ne présentent pas les inconvénients des anciens robinets, et on les dispose pour les différents usages auxquels ils sont destinés.

Les robinets qui ne doivent être ouverts qu'un instant sont les plus simples. Le corps du robinet est un tube droit, taraudé intérieurement sur une partie de sa longueur, présentant au-dessous du taraudage un rétrécissement qui forme un siége conique. La clef se termine par un cône et porte une partie taraudée qui s'engage dans celle correspondante du corps du robinet. En faisant tourner la clef, le cône fait obturateur en portant sur son siége. On donne issue à la vapeur ou au liquide par un orifice latéral, placé entre le rétrécissement conique et le taraudage

La vis devant être assez lâche pour permettre au cône de se centrer sur son siége, il en résulte qu'elle permet des fuites lorsque le robinet doit rester longtemps ouvert; malgré cet inconvénient, la disposition est très-convenable pour les robinets de vérification de la chaudière et pour ceux d'épreuve des pompes.

D'autres robinets, tels que ceux du niveau d'eau, doivent rester constamment ouverts et n'être fermés qu'en cas d'accident ou de vérification. Pour les rendre étanches, on a disposé deux cônes opposés par leur grande base, de manière que, soit en tournant, soit en détournant la vis, il y ait fermeture antérieure ou postérieure. Dans ce cas, pour introduire les cônes, il faut ajouter au corps du robinet un écrou fileté à l'intérieur et à l'extérieur; cet écrou sert à guider et à faire marcher la tige; à l'intérieur se trouve une portée conique pour recevoir le contre-cône.

Enfin, d'autres robinets doivent pouvoir s'ouvrir de quantités variables et rester ouverts pendant un certain temps; c'est ce qui a lieu pour les robinets réchauffeurs. On a alors adapté sur la partie lisse de la tige de ces robinets un presse-étoupe serré par l'écrou taraudé à l'intérieur, qui sert de guide à la tige de l'obturateur.

Ces différents robinets à cônes mis en essai sur quelques machines, et appliqués depuis d'une manière générale sur toutes les machines construites pour le chemin d'Orléans, ont donné les résultats les plus satisfaisants; ils fonctionnent toujours parfaitement et sans fuites; ils ont présenté, sur tous ceux en usage jusqu'alors, une très-grande supériorité, tant sous le rapport du service que sous celui de l'entretien.

Jusqu'ici, pour le graissage des cylindres, on s'était contenté d'introduire, avant le départ, une certaine quantité de matière grasse, au moyen d'un robinet ordinaire.

Malgré la précaution de marcher avant le graissage pour échauffer le cylindre, ce dernier ne se trouvait jamais, au moment du départ, qu'à une température très-inférieure à celle de la vapeur introduite. Une notable quantité d'eau, résultant de la condensation, était alors projetée au premier coup de piston, avec l'huile qui surnageait à sa surface, de telle sorte que le graissage était presque nul.

Voulant obtenir un graissage continu, M. Polonceau avait essayé de placer sur le cylindre un réservoir fermé à l'air, dans lequel une mèche se trouvait placée entre deux tubes concentriques, de manière à ne pouvoir être ni aspirée ni rejetée dans les changements de pression. Le tube extérieur recevait l'huile, le tube intérieur était destiné à mettre en équilibre de pression le réservoir d'huile

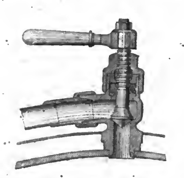


Fig. 614. — Robinet réchauffeur.

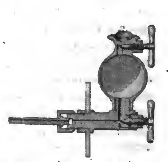


Fig. 615. — Robinet graisseur des tiroirs.



Fig. 616. — Robinet graisseur des cylindres.

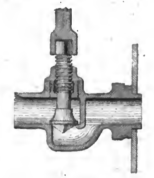


Fig. 617. — Robinet de vidange.

et le cylindre. Mais l'eau, se condensant dans le réservoir d'huile, élevait promptement le niveau du liquide, et l'huile qui était à la surface, débordant dans le tube conduisant au cylindre, était entraînée en très-peu de temps.

Il a donc fallu renoncer à l'emploi de la mèche; elle a été remplacée par une petite soupape placée au fond de la capacité fermée faisant godet à l'huile, soupape dont la levée est réglée à volonté

au moyen d'une vis de pression. A chaque admission de vapeur, la pression dans le cylindre soulève la soupape, et, lors de l'échappement, une goutte d'huile est introduite. La vapeur, en traversant l'huile et s'y condensant en partie, forme une émulsion qui fait durer le graissage plus longtemps que ne le comporterait la quantité d'huile introduite. Ces robinets graissent pendant 12 à 15 kilomètres au moins, avec une levée de soupape d'un quart de kilogramme environ.

Au lieu de placer ces robinets au milieu du plateau d'avant des cylindres, comme on a l'habitude de le faire, ce qui a l'inconvénient de faire tomber l'huile au fond du cylindre, près de la lumière d'introduction et de sortie, sur une partie que n'atteint pas le piston, ils ont été posés sur le dessus du cylindre, de manière que l'huile soit rencontrée par le piston.

Ces machines ont pour dimensions principales :

Diamètre des cylindres		0^m,400
Course des pistons		0 600
Longueur de la bielle		1 800
Diamètre des roues au contact	Avant	1 247
	Milieu	2 027
	Arrière	1 247
Nombre de tubes		182
Longueur des tubes		3^m, 367
Diamètre des tubes		0 038
Surface de chauffe	Foyer	6^{m2},128
	Tubes	77 930
	totale	84 058
Poids total de la machine vide		23^t ,054
— — avec eau et coke		25 320
Poids détaillé de la machine pleine sur le rail	Avant	9 260
	Milieu	12 330
	Arrière	3 730
Écartement des essieux extrêmes		4^m ,320
— d'axe en axe des cylindres		1 840
Inclinaison des cylindres		
Écartement des roues entre les bandages		1 365
Longueur de la grille		1 100
Largeur de la grille		1 000
Surface de la grille		1^{m2},100
Hauteur du premier rang de tubes au-dessus de la grille		0^m ,690
Hauteur du foyer		1 290
Diamètre horizontal intérieur du corps cylindrique		1 150

Diamètre vertical intérieur du corps cylindrique.		•
Longueur du corps cylindrique.		3^m, 250
Volume d'eau contenue dans la chaudière avec 100 millim. d'eau au-dessus du foyer.		2^{m3},012
Volume de vapeur.		1 . 045
Volume total de la chaudière.		5 . 055
Longueur intérieure de la boite à fumée.		0 912
Largeur transversale de la boite à fumée.		1 150
Capacité de la boite à fumée.		0 945
Diamètre intérieur de la cheminée.		0 400
Hauteur au-dessus de la boite à fumée.		1 910
Section du tuyau d'échappement.		0 015
Section maxima de la tuyère d'échappement.		0 025
Section minima — —		0 004
Angle d'avance des excentriques.		30°
Recouvrement intérieur (de chaque côté).		0^m ,050
Maximum d'introduction de vapeur (en millim. de la course).		0 458
Minimum — — —		0 152
Rayon d'excentricité.		0 060
Course des tiroirs.		0 118
Lumières d'admission.	Longueur.	0 280
	Largeur	0 035
	Surface.	0^{m2},009
Longueur développée du conduit d'admission.		0^m ,400
Volume d'eau du tender.		5^{m3},400
Poids du coke.		3 555
Poids du tender vide.		7 500
Poids du tender plein.		16 . 455

TYPE PRUSSIEN. — BORSIG.

L'atelier de M. Borsig, établi à Berlin, a fourni aux chemins de fer du nord de l'Allemagne un très-grand nombre de machines à voyageurs, toutes construites sur le type suivant, dont nous avons déjà fait mention page 394.

La machine est à six roues et séparée du tender. Une paire de roues est à l'arrière du foyer. L'essieu moteur est à l'avant. Le foyer est à dôme pyramidal, comme celui des anciennes machines Stephenson. Le bâti est intérieur, ainsi que le mécanisme et les pompes alimentaires. Les cylindres sont extérieurs et les tiroirs intérieurs.

On remarque dans la machine de Borsig, indépendamment de

l'emploi de l'acier fondu, le système de suspension qui rend solidaires, par l'intermédiaire d'un balancier, les quatre ressorts des roues d'avant et du milieu, tandis que l'essieu d'arrière a un ressort transversal. La machine est en quelque sorte suspendue sur trois points. Les glissières des pistons sont quadruples et embrassent un coulisseau mobile qui remplace avec avantage les crosses de piston ordinaires.

Un certain nombre de ces machines est employé sur le chemin prussien de Saarbruck et de Trèves. En voici les principales dimensions, ainsi que le poids et la puissance :

Poids de la machine sans eau et tender		24^{t},58
Eau et charbon		3 58
Poids total		28 16
Vitesse par heure en kilomètres		45^{k}
Pression dans la chaudière par centimètre carré		6^{k},88
Charge traînée, non compris le poids de la machine.		
1° En plaine		300^{t}
2° Sur rampe de 10 pour 100		90
3° Sur rampe de 20 pour 100		40
Cylindres	Diamètre	0^{m},380
	Course	0 510
Tiroirs, course		0 134
Roues motrices	Nombre	2
	Diamètre d'une roue	1^{m},828
	Diamètre de l'essieu à la fusée	0 157
Roues libres	Nombre	4
	Diamètre d'une roue	1^{m},143
	Diamètre de l'essieu à la fusée	0 124
Boîte à feu	Longueur	1 145
	Largeur	0 942
	Hauteur	1 596
Chaudière	Longueur du corps cylindrique	3 480
	Diamètre	1 229
Tubes	Longueur	3 610
	Diamètre extérieur	0 049
	Nombre	160
Surface de chauffe	Tubes	76^{m2},990
	Boîte à feu	6 030
	totale	83^{m2},020
Pompes	Diamètre	0 10
	Course	0 133
Échappement	Plus grande section	51 32
	Plus petite	21 48

Bielles	Longueur	1m,919
	Diamètre des tourillons de la petite tête	0 059
	Diamètre de la petite tête	0 078
Hauteur de la plate-forme du tender		1 216
Plus grande largeur de la machine		2 406

SYSTÈME A QUATRE ROUES COUPLÉES.

TYPE DU CHEMIN D'ORLÉANS.

Les machines mixtes construites par M. Polonceau pour la Compagnie d'Orléans ont le châssis, les tiroirs et le mécanisme exté-

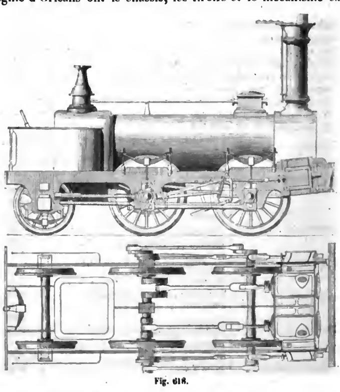


Fig. 618.

rieurs. Les cylindres sont intérieurs; les essieux sont coudés. — Les roues motrices sont placées entre la boîte à feu et la boîte à fumée; la roue libre est à l'arrière de la boîte à feu. Les détails de

construction sont les mêmes que pour les machines à voyageurs à roues indépendantes.

Dans ces machines, dont on parait être très-satisfait, les cylindres et les tiroirs sont inclinés.

En voici les dimensions principales :

Diamètre des cylindres		0m	,420
Course des pistons		0	600
Longueur de la bielle		1	800
Diamètre des roues au contact	Avant	1	627
	Milieu	1	627
	Arrière	1	247
Nombre de tubes		195	
Longueur des tubes		3m	,598
Diamètre intérieur des tubes		0	038
Surface de chauffe des tubes		85	556
— du foyer		6	440
— totale		91	996
Poids total de la machine vide		24t	,754
— — avec eau et coke		27	130
Poids détaillé de la machine pleine sur le rail	Avant	11	300
	Milieu	11	100
	Arrière	4	730
Écartement des essieux extrêmes		4m	,200
Écartement d'axe en axe des cylindres		0	790
Inclinaison des cylindres		6°	,11
Écartement des roues entre les bandages		1m	,365
Longueur de la grille		1	000
Largeur de la grille		1	100
Surface de la grille		1mq	,100
Hauteur du premier rang de tubes au-dessus de la grille		0m	,680
Hauteur du foyer		1	320
Diamètre horizontal intérieur du corps cylindrique		1	200
Diamètre vertical intérieur du corps cylindrique			»
Longueur du corps cylindrique		3	250
Volume d'eau contenue dans la chaudière, avec 100 millim. d'eau au-dessus du foyer		2mc	,142
Volume de vapeur		1	107
Volume total de la chaudière		3	249
Longueur intérieure de la boite à fumée		0m	,820
Longueur transversale de la boite à fumée		1	350
Capacité de la boite à fumée		1	172
Diamètre intérieur de la cheminée		0	420
Hauteur au-dessus de la boite à fumée		1	765
Section du tuyau d'échappement		0	015
Section maxima de la tuyère d'échappement		0	025

Section minima de la tuyère d'échappement		0^m,004
Angle d'avance des excentriques		30°
Recouvrement extérieur (de chaque côté)		0^m,030
Maximum d'introduction de vapeur (en millim. de la course)		0 452
Minimum — — —		0 105
Rayon d'excentricité		0 060
Course des tiroirs		0 118
Lumières d'admission	Longueur	0 280
	Largeur	0 035
	Section	0 009
Longueur développée d'un conduit d'admission		0 488
Volume d'eau du tender		5^{m3},400
Poids du coke		3^t,555
Poids du tender vide		7 700
Poids du tender plein		16 655

TYPE DU CHEMIN DE L'EST.

Ces machines, qui font un excellent service, ont été construites

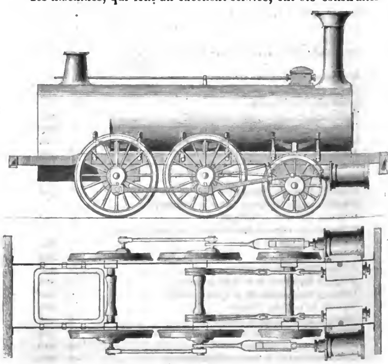


Fig. 619.

par MM. Kœchlin et Cie, et par M. Gouin; elles diffèrent de celles du chemin d'Orléans par la position des roues motrices, qui sont placées à l'arrière. Elles ont les essieux droits, les cylindres et le mécanisme extérieurs; les tiroirs intérieurs. La chaudière est de la forme des chaudières Crampton.

Le poids moyen de la machine est de 26 tonnes. Elles remorquent des trains mixtes composés de 24 voitures, à la vitesse de 35 kilomètres, ou des trains de voyageurs de 20 à 22 voitures, à la vitesse de 46 kilomètres à l'heure. Leur consommation est de 9 à 10 kilogrammes de coke de Saarbrück par kilomètre.

Leurs dimensions principales sont :

Diamètre intérieur de la chaudière.	Grandes viroles.		1^m,256
	Petites viroles.		1 230
Épaisseur de la tôle du corps cylindrique.			0 013
— — de la boite à feu.			0 013
— du cuivre du foyer.			0 013
— de la plaque tubulaire en fer.			0 017
— — — en cuivre.			0 025
— des tubes.			0 015
Nombre de tubes.			166
Longueur des tubes.			4^m,036
Épaisseur des tubes.			0 002
Diamètre des tubes à la boite à feu.			0 0475
— — à fumée.			0 049
Hauteur intérieure du foyer.			1 471
Longueur intérieure du foyer en haut.			1 202
— — avant la partie écrasée.			1 202
Largeur de la partie évasée.		1^m,252 sur	0 936
— — du haut.			1 010
— — au milieu de la hauteur.			0 906
Surface de chauffe du foyer.			7^{m2},200
— — intérieure des tubes.			92 000
— — totale.			99 200
Diamètre du cylindre.			0^m,420
Course du piston.			0 560
— maximum du tiroir.			0 116
— d'après une épure spéciale.			0 115
Avance à l'introduction.	Avant.	0^m,003 à	0 007
	Arrière.	0^m,001 à	0 005
Recouvrement extérieur.	Avant.		0 031
	Arrière.		0 028
Avance linéaire totale.	Avant.	0^m,003 à	0 007
	Arrière.	0^m,001 à	0 005

Recouvrement intérieur		0^{m}	,002
Avance à l'échappement		0	029
Angle de calage des excentriques	Marche en avant	35°	
	— en arrière	30	
Diamètre intérieur des tuyaux d'arrivée de vapeur		0^{m}	,100
— — d'échappement		0	120
Section des orifices d'échappement	0^{m},300 sur	0	075
— d'introduction	0^{m},300 sur	0	040
Course des excentriques		0	116
Avance angulaire	Marche en avant	35°	
	— en arrière	30	
Longueur des barres d'excentrique		1^{m}	,350
— des bielles motrices		1	760
Écartement des cylindres de milieu en milieu		1	990
— des longerons de milieu en milieu		1	226
Section des longerons	0^{m},200 sur	0	030
Pompes alimentaires	Diamètre du plongeur	0	105
	Longueur du plongeur	0	585
	Course du plongeur	0	116
	Longueur de la bielle du plongeur	0	868
D'axe en axe des tringles de tiroirs		0	882
Essieu d'avant	Longueur totale de l'essieu	1	724
	Diamètre au calage des roues	0	180
	— des fusées	0	150
	Longueur des fusées	0	220
	Diamètre du corps de l'essieu	0	140
	Distance entre les collets	1	353
	— entre les moyeux	1	355
Essieux du milieu et d'arrière	Longueur totale	1	760
	Diamètre au calage	0	180
	— des fusées	0	160
	Longueur des fusées	0	180
	Diamètre au corps de l'essieu	0	155
	— au calage des excentriques	0	160
	Longueur au calage des excentriques	0	126
	De milieu en milieu du calage	0	876
Diamètre des guides ronds		0	070
— des tourillons de manivelles des bielles motrices		0	090
Longueur — — —		0	090
Rayon des manivelles		0	280
Écartement des bielles d'accouplement de milieu en milieu de leur épaisseur		2	170
Diamètre des tourillons des bielles d'accouplement au milieu		0	080
Longueur des tourillons des bielles d'accouplement au milieu		0	070

Diamètre des tourillons des bielles d'accouplement à l'arrière.	0^m,080
Longueur des tourillons des bielles d'accouplement à l'arrière.	0 070

TYPE MIXTE DU CHEMIN DU NORD.

Nous avons fait connaître les dispositions générales des machines mixtes, système Engerth, employées au chemin de fer du Nord.

L'article suivant, dont les éléments nous ont été fournis par M. Nozo, ingénieur des ateliers de réparation des machines au chemin de fer du Nord, est une description détaillée des différentes parties dont elles sont composées.

Conditions générales d'établissement.

Les locomotives mixtes, système Engerth, du chemin de fer du Nord, ont été construites pour remorquer, sur des rampes de 0^m,005 par des temps ordinaires, des convois de 24 voitures, à une vitesse moyenne, stationnements compris, de 45 kilomètres à l'heure.

Ces locomotives sont portées par cinq paires de roues; deux paires couplées à l'avant, de 1^m,740 de diamètre de roulement, supportant directement la machine comme à l'ordinaire; et trois paires indépendantes, de 1^m,039 de diamètre de roulement, à l'arrière, supportant directement le tender, mais recevant aussi indirectement une portion notable du poids de la machine.

Pour fixer les idées, on peut supposer le véhicule divisé en ses deux parties essentielles, la machine et le tender, comme on le décompose effectivement dans les ateliers de réparation.

On trouve alors : d'un côté une locomotive à quatre roues couplées sous le corps cylindrique; à cylindres légèrement inclinés, longerons intérieurs et essieu coudé à l'arrière; à foyer très-notablement en porte à faux.

De l'autre côté, un tender de forme appropriée, porté sur trois paires de roues, dont deux sous la caisse à eau et à coke, et l'autre



placée à l'extrémité antérieure des longerons prolongés fort en avant de la caisse à eau; longerons extérieurs aux roues; ressorts de suspension et boîtes à graisse extérieurs aux longerons; frein à vis.

La saillie des longerons du tender et le porte à faux à l'arrière de la machine sont calculés de manière que le foyer puisse s'intercaler dans le tender, entre les longerons et l'essieu d'avant; si bien qu'après l'assemblage l'essieu d'avant du tender se trouve à l'avant du foyer, sous le corps cylindrique de la chaudière.

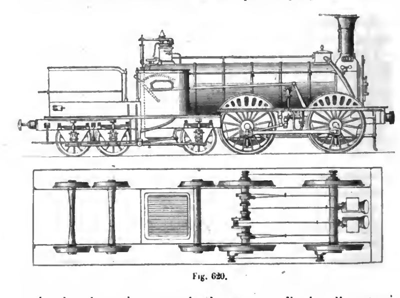


Fig. 620.

Une partie du poids de la machine peut dès lors être reportée sur le tender au moyen de supports fixés après le foyer et allant reposer sur le tender.

Comme on le pense bien, ces supports ne sont pas fixés aux longerons. Leur branche horizontale porte en dessous une saillie hémisphérique s'emboîtant dans un godet qui offre en creux la même demi-sphère que le support, et dont la base plane repose sur une glissière horizontale fixée solidement aux longerons du tender.

Par cette disposition, tous les mouvements relatifs des deux parties de la locomotive restent parfaitement libres et indépendants, et, quelle que soit l'importance de ces mouvements, la machine n'en continue pas moins de reposer sur le tender.

Le mode d'*emboitement* et de *superposition* des deux parties de la locomotive-tender une fois établi, il reste à expliquer comment s'opère la connexion.

Le système de connexion se compose :

1° De deux croisillons en forme d'X, espacés convenablement et fixés aux longerons de la machine;

2° D'une traverse introduite entre les deux croisillons par des ouvertures convenablement ménagées dans les longerons du tender ;

3° D'un boulon d'articulation spécial traversant les croisillons et la traverse rigoureusement dans l'axe de la voie.

Le boulon d'articulation doit, comme le support à rotule décrit plus haut, se prêter à tous les mouvements indépendants des deux parties de la locomotive. A cet effet, les deux extrémités du boulon sont cylindriques ou légèrement coniques et s'engagent à demeure dans les croisillons. Le milieu, de forme sphérique, est embrassé par un coussinet de même forme à l'intérieur, mais cylindrique à l'extérieur, pour pouvoir glisser verticalement dans la douille de la traverse.

Comme on le voit d'après cela, la connexion et la superposition des deux parties de la locomotive-mixte-tender du Nord laissent à chacune d'elles la liberté et l'individualité de tous les mouvements qui se produisent pendant la marche.

Les dimensions principales sont consignées dans le tableau suivant :

LOCOMOTIVE.

Grille.	Longueur.	1m,282
	Largeur.	1 050
	Surface.	1m²,340
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille.		1m,657

Tubes	Nombre		180
	Longueur		4^m, 500
	Diamètre extérieur		0 050
	Épaisseur		0 002
Surface de chauffe	Foyer		8^{m2},500
	Tubes		117 000
	totale		125 500
Diamètre intérieur du corps cylindrique			1^m ,258
Nombre de cylindrées de vapeur disponibles			15 ,700
Hauteur de l'axe de la chaudière au-dessus des rails			2^m,040
Tension de la vapeur			8^{at}
Diamètre des cylindres			0^m,420
Course du piston			0 560
Course des excentriques			0 090
Lumières	Longueur		0 360
	Largeur	Entrée	0 031
		Sortie	0 085
Pompes alimentaires	Diamètre		0 090
	Course		9 220
Manivelle motrice, rayon			0 280
— d'accouplement, rayon			0 220
Diamètre des roues	1 Avant		1 739
	2		1 739
	3		1 059
	4		1 059
	5		1 059
Écartement des essieux	1 . . 2		2 700
	2 . . 3		1 500
	3 . . 4		2 600
	4 . . 5		1 200
Poids de la machine	Pleine		47^t,405
	Vide		36 315
Pression des deux roues d'un même essieu sur le rail au départ	1 Avant		11 400
	2		11 000
	3		8 200
	4		8 200
	5		8 700

TENDER.

Contenance en eau	5^m,000
— en coke	1 600
Poids de l'outillage	300^k

MACHINE ET TENDER ACCOUPLÉS.

Longueur totale de tampon à tampon	11^m,450
Écartement des essieux externes	8 000

Distance horizontale des pièces les plus saillantes à l'axe de la voie		$1^{m},400$
Distance aux rails des pièces les plus élevées		4 200
Distance aux rails des pièces les plus basses	Intérieur des rails	M 0 190
	Extérieur des rails	T 0 190
Vitesse des trains, stationnements compris, en kilomètres, à l'heure		45^{k}
Poids réglementaire des convois remorqués	Ordinaire.	177^{t}
	Maximum.	204
Nombre de waggons ou de voitures remorqués	Ordinaire.	21
	Maximum.	24
Allocation réglementaire en coke par kilom.	Ordinaire.	$10^{k},0$
	Maximum.	11 5
Prix de la machine		$83,000^{f}$
Effort de traction $\frac{P d^2 L}{D}$		$3,976^{k},25$
Adhérence ou poids sur les roues motrices		$22^{t},400$

Détails d'exécution.

Chaudière. — La chaudière, montée à dilatation libre de l'avant à l'arrière sur les longerons, est de forme dite Crampton, avec prise de vapeur longitudinale. La boîte du régulateur est à l'avant, et la vapeur est amenée aux tiroirs par deux tuyaux extérieurs à double enveloppe, de feutre et de métal, contre le refroidissement.

L'échappement se fait, dans un certain nombre de machines, par un tuyau conique muni de valves, pour varier à volonté l'ouverture de l'orifice, et, dans d'autres, par deux tuyaux.

L'un, placé dans l'axe de la cheminée, forme échappement fixe; l'autre, branché à la partie inférieure et en avant du premier, lui sert de décharge, en constituant échappement variable au moyen d'un papillon placé dans le bas, dont on varie l'ouverture à volonté.

Cette disposition, appliquée par M. Nozo en 1843 aux machines du chemin de fer de Lille à la frontière de Belgique, participe à la fois des avantages de l'échappement fixe et de l'échappement variable, sans avoir les inconvénients qu'on reproche à ce dernier.

La grille est munie d'un jette-feu à la main du mécanicien. Avec de grands foyers comme ceux des machines que nous étudions, le jette-feu est indispensable.

A côté du sifflet d'alarme, la Compagnie du Nord a placé, comme sur les autres machines à voyageurs, un sifflet d'avertissement qui peut être mis en jeu de tous les points du train.

Les entre-toises d'armatures du foyer sont montées avec écrous à l'intérieur. Nous avons décrit les avantages que présente cette disposition, généralisée au chemin de fer du Nord.

Les tubes sont à épaisseur variable montés avec viroles dans la boîte à feu, et rivés sans viroles dans la boîte à fumée.

La chemise en bois dont est enveloppée la chaudière est recouverte de feuilles de laiton. Le laiton ne s'use pas comme la tôle; il n'exige aucune espèce de peinture; il conserve toujours sa valeur.

Les cheminées sont garnies d'un robinet souffleur pour activer le tirage au stationnement, et pour abréger la mise en vapeur.

Mécanisme. — Le mouvement de distribution emprunte la coulisse fixe renversée, la détente et le changement de marche s'obtiennent par conséquent en relevant la *tige* du tiroir.

Dans le mouvement de propulsion, il y a lieu de signaler pour chaque cylindre :

1° L'emploi de deux systèmes de glissières, de bielles motrices simples, de tiges de pistons renflées à leur emmanchement avec la tête;

2° La grande longueur des bielles d'accouplement, et le rayon des manivelles d'accouplement, plus petit que celui des manivelles motrices.

Le système d'alimentation est placé extérieurement aux longerons, afin de dégager le mécanisme. Le mouvement est donné au plongeur de la pompe au moyen d'une bielle prenant son mouvement sur le bouton d'accouplement moteur, d'un balancier et d'une petite bielle de plongeur.

La deuxième chapelle de refoulement fait corps avec le robinet de retenue, comme dans toutes les locomotives de la Compagnie.

Bâtis et roues. — Nous avons déjà eu occasion de voir dans le paragraphe premier que les longerons de la machine proprement dite étaient intérieurs, et que ceux du tender étaient extérieurs aux roues. Cette double condition, nous le savons, est commandée

par l'obligation de placer, avec un jeu suffisant pour les mouvements relatifs, l'arrière de la machine dans l'avant du tender.

Les plaques de garde de la machine font partie des longerons, celles du tender sont rapportées.

Les boîtes à graisse de la machine sont en fer cémenté et trempé, celles du tender sont en fonte. Six machines sont montées sur essieux coudés en acier fondu de Krupp, garantis pour dix ans.

Le frein est à quatre sabots, agissant à l'intérieur des deux roues d'avant du tender.

Les bielles de suspension sont fixées au bâtis, mais les sabots sont articulés sur les bielles de suspension. Cette disposition, appliquée par M. Nozo dès 1844, simplifie la construction des freins, tout en permettant un contact rigoureux du sabot, à tous degrés d'usure et dans toutes les oscillations du véhicule.

Les clapets de prise d'eau sont mis en jeu au moyen d'un levier actionné par la vis motrice : cette condition, rendue obligatoire dans l'espèce, peut présenter quelquefois des avantages.

MACHINES A PETITE VITESSE

SYSTÈME A SIX ROUES COUPLÉES.

TYPE DU CHEMIN D'ORLÉANS.

Cette machine se distingue par les avantages suivants :

1° Abord facile de toutes les pièces du mécanisme pour la visite, le nettoyage et l'entretien ;

2° Augmentation des surfaces de frottement obtenue par suite de l'espace réservé à chacune des pièces, et par conséquent diminution de l'usé ;

3° Abaissement du centre de gravité de la chaudière et allongement de la cheminée.

Les cylindres sont fixés entre eux de la manière la plus invariable, ce qui assure le parallélisme de leurs axes et leur donne une

grande stabilité; ils sont en outre pris dans les plaques d'avant et d'arrière de la boîte à fumée et y sont solidement boulonnés; de plus, ils sont reliés aux deux bâtis par les larges surfaces des boîtes à tiroirs, et sont ajustés dans la fourche formée par l'avant de ces mêmes bâtis. Enfin, ils sont montés sur la plaque d'enveloppe de

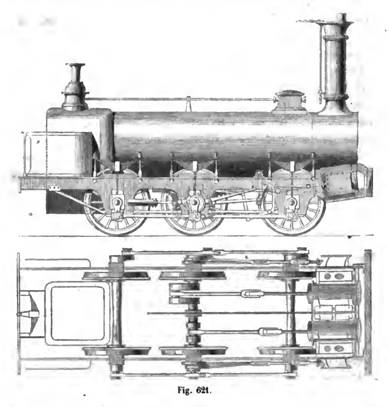


Fig. 621.

la boîte à fumée. Les longerons et les plaques verticales sont liés invariablement : 1° par le prolongement de ces plaques jusqu'au bâti; 2° par une plaque de tôle horizontale sous les cylindres; 3° par des plaques horizontales au-dessus du bâti; 4° enfin par les cylindres eux-mêmes.

Tout mouvement des cylindres, ainsi que des bâtis par rapport aux cylindres, est donc impossible, et de plus les cylindres eux-

mêmes, fermant le fond de la boîte à fumée, sont moins exposés au refroidissement et évitent le remplacement fréquent du fond de cette boîte, qui entraîne une grande réparation. Les bâtis sont tous à dilatation libre.

La chaudière porte un système de balance à déclic instantané de MM. Vallée et Lemonnier, donnant spontanément une très-grande ouverture aux soupapes, aussitôt que la pression de la vapeur s'élève au-dessus de la limite réglementaire.

Le foyer est garni d'une grille inclinée, propre à la combustion de la houille en nature.

La traverse d'avant, au lieu d'être pivotante autour du crochet d'attelage, comme dans la machine à voyageurs, tourne autour de son arête supérieure au moyen de charnières qui la relient très-solidement au châssis.

Le mode d'entretien des plaques de garde donne un grande solidité au bâti et permet un démontage facile des boîtes à graisse. Les barres d'écartement des plaques de garde ne vont que d'une plaque à l'autre et y sont rivées.

La coulisse est renversée et à suspension fixe.

Le serrage par des coins de grande largeur ne produit pas le matage des surfaces et la casse des coussinets, il exige peu de place pour le passage en dessus et en dessous des bielles.

Elles ont pour dimensions principales :

Diamètres des cylindres		0m ,420
Course des pistons		0 650
Longueur de la bielle		1 650
Diamètre des roues en contact	Avant	1 377
	Milieu	1 377
	Arrière	1 377
Nombre de tubes		204
Longueur des tubes		4m ,178
Diamètre intérieur des tubes		0 043
Surface de chauffe des tubes		114 900
— — du foyer		7 300
— — totale		122 200
Poids total de la machine vide		26t ,803
— — avec coke et eau		30 710
Poids détaillé de la machine pleine sur le rail	Avant	9 905
	Milieu	10 790
	Arrière	10 015

Écartement des essieux extrêmes	3m,520
— d'axe en axe des cylindres	0 790
Inclinaison des cylindres	6°,38'
Écartement des roues entre les bandages	1m,365
Longueur de la grille	1 100
Largeur de la grille	1 100
Surface de la grille	1m²,210
Hauteur du premier rang de tubes au-dessus de la grille	0m,800
Hauteur du foyer	1 520
Diamètre horizontal intérieur du corps cylindrique	1 300
Diamètre vertical intérieur du corps cylindrique	»
Longueur du corps cylindrique	4 050
Volume d'eau contenue dans la chaudière avec 100 millim. d'eau au-dessus du foyer	3 650
Volume de vapeur	1 530
Volume total de la chaudière	5 180
Longueur intérieure de la boîte à fumée	0 865
Largeur transversale de la boîte à fumée	1 325
Capacité de la boîte à fumée	1m³,175
Diamètre intérieur de la cheminée	0m,420
Hauteur au-dessus de la boîte à fumée	1 800
Section du tuyau d'échappement	0 015
Section maxima de la lumière d'échappement	0 025
Section minima — —	0 004
Angle d'avance des excentriques	30°
Recouvrement extérieur (de chaque côté)	0m,030
Maximum d'introduction de vapeur (en millim. de la course)	0 468
Minimum — — —	0 136
Rayon d'excentricité	0 060
Course des tiroirs	0 120
Lumières d'admission. Longueur	0 280
Lumières d'admission. Largeur	0 035
Lumières d'admission. Section	0 009
Longueur développée du conduit d'admission	0 465
Volume d'eau du tender	5m³,400
Poids du coke	3t,000
Poids du tender vide	7 980
— plein	16 322
AV.	7 606
AR.	8 716

SYSTÈME ENGERTH.

TYPE DU CHEMIN DU NORD.

Conditions générales d'établissement.

Les locomotives à marchandises de grande puissance, système Engerth, du chemin de fer du Nord, dont la première figurait à l'Exposition universelle de 1855, remorquent sur les lignes principales à rampes de $0^m,005$, par des temps moyens, des convois de 45 waggons chargés à 10 tonnes, à une vitesse de 24 kilomètres à l'heure.

Dans le système Engerth, la locomotive, on le sait, est intimement liée au tender, et les deux véhicules ne font, à proprement parler, qu'un même tout. Ces sortes de locomotives sont donc, par le fait, des locomotives-tenders.

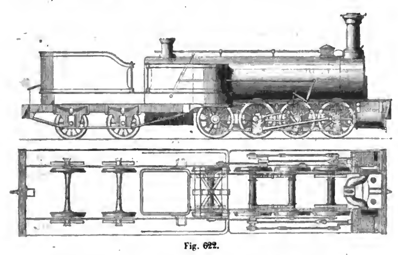


Fig. 622.

Les locomotives à marchandises, système Engerth, du chemin de fer du Nord, sont portées sur six paires de roues; quatre paires couplées à l'avant, de $1^m,258$ de diamètre, formant un premier train supportant directement la machine, et deux paires indépendantes, de $1^m,059$ de diamètre à l'arrière, formant un deuxième

train articulé avec le premier et supportant directement le tender, mais recevant aussi indirectement une portion du poids de la machine.

Pour bien comprendre cet ensemble, si on suppose pour un instant la machine-tender divisée en ses deux parties essentielles, comme on le fait dans les ateliers lors des réparations, on trouve :

D'un côté : une locomotive à huit roues couplées, placées sous le corps cylindrique; à cylindres extérieurs; longerons intérieurs aux roues; tout le mécanisme extérieur; le foyer en porte à faux.

De l'autre côté : un tender de forme appropriée, porté sur deux paires de roues, avec longerons extérieurs prolongés fort au delà de la paire de roues d'avant.

Ces longerons ainsi prolongés viennent reposer sur les extrémités des ressorts de suspension de la quatrième paire de roues de la machine, au moyen de l'interposition de pièces à rotules et glissières qui permettent tous les mouvements relatifs entre la machine et le tender.

Le foyer de la machine vient s'intercaler entre les deux longerons du tender, de manière qu'après l'assemblage une partie du poids de la machine soit reportée sur le tender au moyen de supports fixés après la boîte à feu et dont les branches horizontales vont reposer sur les longerons du tender. Pour cela, ces branches horizontales portent en dessous des demi-sphères s'emboîtant dans des godets hémisphériques à base plane qui reposent sur une glissière plane aussi, fixée sur les longerons du tender. Cette disposition, comme on le conçoit facilement, permet à tous les mouvements relatifs entre les deux véhicules de se produire.

Le système de connexion se compose :

1° D'un croisillon en forme d'X fixé aux longerons intérieurs de la machine;

2° De deux systèmes de traverses parallèles entre-toisées passant au-dessus des longerons de la machine et fixées solidement aux longerons du tender;

3° D'un boulon d'articulation spécial traversant le croisillon et fixé au système de traverses, rigoureusement dans l'axe de la machine.

Ce boulon d'articulation porte en son milieu une partie sphérique enveloppée par un coussinet aussi sphérique à l'intérieur, et cylindrique à l'extérieur, de manière à se prêter à tous les mouvements relatifs entre la machine et le tender.

Les dimensions principales sont consignées dans le tableau suivant :

LOCOMOTIVE.

Grille	Longueur		1^{m},440
	Largeur		1 350
	Surface		1^{m2},944
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille			1^{m},680
Tubes	Nombre		235
	Longueur		5^{m},045
	Diamètre extérieur		0 055
	Épaisseur		0 0025
Surface de chauffe	Foyer		10^{m2},756
	Tubes		186 250
	totale		196 986
Diamètre intérieur du corps cylindrique			1^{m},500
Nombre de cylindrées de vapeur disponibles			19 ,300
Hauteur de l'axe de la chaudière sur les rails			1^{m},970
Tension de la vapeur			8^{at}
Diamètre des cylindres			0^{m},500
Course des pistons			0 660
Course des excentriques			0 113
Lumières	Longueur		0 350
	Largeur	Entrée	0 045
		Sortie	0 090
Pompes alimentaires	Diamètre		0 072
	Course		0 660
Manivelles motrices, rayon			0 330
Manivelle d'accouplement, rayon			0 330
Diamètre des roues	1 Avant		1 258
	2		1 258
	3 Moteur		1 258
	4		1 258
	5		1 059
	6		1 059
Écartement des essieux	1. . .2		1 300
	2. . .3		1 300
	3. . .4		1 350
	4. . .5		3 050
	5. . .6		1 700

Poids de la machine	Pleine	62t,800
	Vide	45 770
Pression des deux roues d'un même essieu sur les rails au départ.	1 Avant	10 100
	2	9 200
	3	9 900
	4	11 100
	5	10 900
	6	11 600

TENDER.

Contenance en eau	8t,500
— en houille	2 000
Poids de l'outillage	300k

MACHINE ET TENDER ACCOUPLÉS.

Longueur totale de tampon à tampon	13m,100
Écartement des essieux extrêmes	8 700
Distance horizontale des pièces les plus saillantes à l'axe de la voie	1 472
Distance aux rails des pièces les plus basses, extérieur des rails	0 070
Distance aux rails des pièces les plus élevées	4 208
Vitesse des trains, stationnement compris, en kilomètres, à l'heure	24k
Poids réglementaire des convois remorqués	655t
Nombre de waggons remorqués	45
Allocation réglementaire en houille par kilomètre	20k
Prix de la machine	112,000f
Effort de traction $\frac{P d^2 L}{D}$	9,181k,200
Adhérence ou poids sur les roues motrices	40t,300

Détails d'exécution.

Chaudière. — La chaudière est de forme dite Crampton, avec prise de vapeur longitudinale. La boîte du régulateur est à l'avant du corps cylindrique; la vapeur, après avoir passé dans une pièce en fonte servant d'embase à la cheminée, se rend aux cylindres par deux tuyaux placés dans l'intérieur de la boîte à fumée.

L'échappement variable employé est l'échappement à valves.

La grille est munie d'un jette-feu à la main du mécanicien.

Les tubes à fumée sont à épaisseur variable, montés avec viroles dans la boîte à feu, et sans viroles dans la boîte à fumée.

La chemise en bois dont est enveloppée la chaudière est recouverte de feuilles de laiton.

La cheminée est garnie d'un robinet souffleur pour activer le tirage en stationnement, et pour abréger la mise en vapeur.

La grille est à barreaux inclinés, pour faciliter l'emploi de la houille.

Mécanisme. — Ce qu'il importe de remarquer tout d'abord, dans le mécanisme, c'est l'accouplement, *au moyen de bielles*, des quatre paires de roues placées sous le corps cylindrique de la chaudière.

Dans les locomotives du chemin de fer du Nord, il n'a pas été nécessaire de recourir aux engrenages, comme au Sommering, puisque là un poids adhérent de 40 tonnes suffisait aux besoins du service.

Le mouvement de distribution est à coulisse fixe renversée.

La détente et le changement de marche s'obtiennent par conséquent en relevant la tige du tiroir.

Dans le mouvement de propulsion, il y a lieu de signaler :

1° L'emploi de tiges de pistons renflées à leur emmanchement dans la tête, et de bielles motrices simples ;

2° La grande longueur de la bielle motrice ;

3° Le mode spécial de connexion de la grosse tête de bielle d'accouplement du milieu avec la bielle d'accouplement d'arrière ;

4° L'assemblage de l'arbre de relevage en deux parties pour en faciliter le montage ;

5° La deuxième chapelle de refoulement faisant corps avec le robinet de retenue, comme dans toutes les locomotives de la Compagnie ;

6° Un réservoir à air placé sur le tuyau d'alimentation pour diminuer les chocs.

Bâtis et roues. — Les plaques de garde de la machine font partie des longerons ; celles du tender sont rapportées.

Les boîtes à graisse de la machine sont en fer cémenté et trempé : celles du tender sont en fonte.

Les roues sont en fer forgé.

Les bandages des roues du premier essieu (avant) et ceux du

quatrième essieu sont à boudins forts et à l'écartement de $1^{m},355$ intérieurement.

Les bandages des roues du deuxième essieu sont sans boudins avec le même écartement intérieur.

Les bandages des roues du troisième essieu (moteur) sont à boudins faibles, avec écartement intérieur de $1^{m},365$.

La manivelle motrice porte une contre-manivelle recevant les poulies d'excentriques, comme dans les locomotives à grande vitesse, système Crampton.

Dans le but de faciliter la répartition de la charge sur les rails, les roues du deuxième et du troisième essieu ont un ressort commun à branches d'inégale longueur pour tenir compte de la différence de poids des parties non suspendues.

Le frein est à quatre sabots agissant sur les deux roues de droite du tender.

Les bielles de suspension des sabots sont attachées aux bâtis, mais les sabots sont articulés sur les bielles de suspension. Cette disposition permet un contact rigoureux du sabot à tous degrés d'usure et dans toutes les oscillations du véhicule.

La circulation autour de la machine se fait par l'intérieur des rampes.

L'emploi des puissantes machines Engerth au chemin de fer de l'Est donne des résultats satisfaisants. Leur charge normale est de 60 waggons chargés à 5 tonnes ou 40 waggons à 10 tonnes; elles font un service aussi régulier que les autres machines. Elles produisent facilement la vapeur sans le secours de l'échappement variable. En général, leurs dispositions sont bonnes; on ne leur reproche que quelques vices de détail peu importants. On n'est pas encore exactement fixé sur leurs frais d'entretien, cependant il est certain qu'ils sont plus élevés que ceux des autres machines, ce qui, en raison de leur puissance et de la solidarité de la machine et du tender, était à supposer. La consommation de ces machines est de 19 kilog. par kilomètre en houille de Sarrebruck, ce qui équivaut à peu près à $15^{k},50$ de houille du Nord.

TYPE DU CHEMIN DE L'EST MODIFIÉ.

M. Couche, ingénieur en chef des mines et du contrôle des chemins de fer de l'Est, ayant exprimé l'opinion que l'on pouvait obtenir une répartition satisfaisante du poids d'une locomotive Engerth sur huit paires de roues sans recourir à l'assemblage assez compliqué du tender à la machine, la Compagnie des chemins de fer de l'Est a essayé de faire marcher la machine proprement dite isolement.

La répartition du poids sur les essieux, telle qu'elle avait été livrée par le Creusot pleine d'eau et de combustible, prête à marcher, étant la suivante :

1er essieu de la machine.	10,581 kilog.	39,313 kilog.
2e.	9,340 —	
3e.	10,794 —	
4e.	8,598 —	
1er essieu du tender.	13,106 —	23,286 —
2e.	10,180 —	

la répartition du poids de la même machine après le découplement, et *avec un lest de* 3,303 *kilogrammes à l'avant* entre les cylindres, a été pour la machine garnie d'eau et de combustible :

Sur le 1er essieu.	11,000 kilog.	45,400 kilog.
2e.	10,800 —	
3e.	10,800 —	
4e.	12,800 —	

Cette machine fait un bon service entre Forbach et Nancy, où elle est employée au transport de la houille. On lui a adjoint un tender ordinaire.

Le découplement n'a été fait que d'une manière provisoire. Lorsqu'il sera fait définitivement, le poids à l'arrière sera de 1 tonne de moins.

La répartition deviendra alors la suivante :

Sur le 1er essieu.	11,000 kilog.	44,400 kilog.
2e.	10,700 —	
3e.	10,700 —	
4e.	12,000 —	

Il ne serait pas difficile, en réduisant un peu la longueur de la boîte à feu et reportant un peu sur l'arrière tous les essieux, d'obtenir une répartition uniforme ou à peu près de la charge entre eux, et un maximum moins élevé que celui qu'on obtient à l'aide de l'accouplement. Les prévisions de M. Couche se trouveraient donc ainsi justifiées.

Cet habile ingénieur admet toutefois l'accouplement pour les locomotives marchant à une certaine vitesse, telles que les Engerth mixtes du Nord, qui nécessitent de grands foyers aussi bien que les machines à marchandises.

L'accouplement du Creusot est admis sur le chemin central suisse pour toutes les machines, qu'elles fassent le service des voyageurs ou celui des marchandises, qu'elles soient mixtes ou à six et huit roues couplées. L'étendue des plus grandes surfaces de chauffe ne dépasse cependant pas 140 mètres carrés. On se demande si cet accouplement est, dans ces conditions, toujours bien motivé.

MACHINES POUR FORTES RAMPES ET TRÈS-PETITE VITESSE

TYPE UNIQUE DU CHEMIN DU NORD.

Conditions générales d'établissement.

Relativement aux conditions générales d'établissement de ces locomotives d'un type entièrement nouveau, étudiées dans les ateliers du chemin de fer du Nord, sous la direction de M. Jules Petiet, nous ne pensons pas pouvoir mieux faire que de donner un extrait des communications faites à la Société des ingénieurs civils par M. Nozo, dans les séances des 7 novembre 1856 et 23 janvier 1857.

Les lignes principales du chemin de fer du Nord sont établies avec des rampes qui ne s'élèvent pas au-dessus de 5 millimètres par mètre, et des courbes qui ne descendent pas au-dessous de 1,000 mètres de rayon. Mais, par contre, le chemin de ceinture et

divers embranchements de la partie septentrionale, qu'il faut considérer comme autant de traits d'union entre le chemin de fer du Nord, les lignes françaises et le réseau belge, présentent assez fréquemment des rampes de 10 à 18 millimètres, et des courbes d'assez petits rayons.

La Compagnie, on doit le présumer, sera appelée à faire certaines tractions sur ces lignes, et il y a lieu, dès à présent, pour

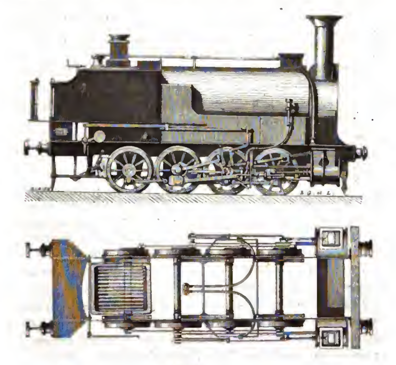


Fig. 623.

elle, d'étudier et construire un type spécial de locomotive pouvant remorquer sur de fortes rampes de lourds trains de marchandises plus économiquement que les puissantes machines actuellement en service sur les deux branches principales, où les conditions d'exploitation sont toutes différentes de celles des embranchements.

Lors de la construction des puissantes machines de la grande

ligné qui ont à parcourir des rampes d'inclinaison moyenne, il est vrai, mais généralement d'un très-grand développement, on a dû surtout rechercher les dispositions qui assuraient le mieux la *régularité de la vitesse normale des trains* dans toutes les circonstances de l'exploitation, afin de ne jamais apporter d'entraves au service des voyageurs. Pour cela, deux points ont été considérés comme essentiels : la conservation des diamètres des roues adoptés dès l'origine pour les premières machines à marchandises, et l'établissement d'une surface de chauffe sur des bases suffisamment larges pour que la production de vapeur restât constamment en parfait accord avec la dépense.

Dans le dernier type construit, pour porter la surface de chauffe jusqu'à près de 200 mètres carrés, on fut même obligé de placer le foyer au delà de la quatrième paire de roues, afin de lui donner une largeur suffisante; c'est alors que, pour éviter les fâcheux effets d'un porte à faux considérable à l'arrière, on eut recours au système Engerth, qui permet de reporter une partie du poids de la chaudière sur le tender.

En dehors de cette combinaison il eût été, sans doute, fort difficile d'asseoir sur quatre paires de roues, avec égalité de répartition du poids sur les essieux, une surface de chauffe aussi grande, indispensable en tous cas pour remorquer, dans les conditions d'exploitation relatées plus haut, des trains de 650 tonnes.

L'égalité de répartition du poids et la nécessité de ne pas trop charger les rails ont surtout acquis une grande importance dans ces dernières années en présence de la difficulté d'obtenir des bandages d'une qualité suffisante pour résister à la fatigue qu'ils éprouvent, *sous des roues couplées de petit diamètre*, lorsque la pression par essieu atteint 12 à 13,000 kilogrammes.

C'est cette même nécessité, de ne pas dépasser la pression sur les rails de 12 à 13 tonnes, qui a généralement conduit, dans les machines à marchandises, à reporter les approvisionnements d'eau et de coke sur un tender spécial, et nous venons même de voir que, pour le plus puissant type du Nord, le tender (qui doit être considéré comme distinct malgré sa connexion intime avec la machine) avait dû supporter une partie du poids de la chaudière.

Si l'emploi d'un tender spécial ne présente pas d'inconvénients graves sur les chemins à rampes ordinaires, il n'en est plus de même lorsque les rampes s'élèvent à 10 et 20 millimètres par mètre. Pour ces lignes, en effet, il y a un grand intérêt, en sacrifiant quelque peu la vitesse, à rechercher les combinaisons qui peuvent ramener le poids total du moteur (*machine et tender*) à ce qui est seulement nécessaire à l'adhérence. On supprime, en effet, par là, ce qu'on appelle les *poids morts*, et on laisse, par conséquent, disponible pour la traction la *totalité du travail utile* développé par la machine.

Les profils à fortes rampes des lignes d'embranchements qui se rattachent directement au réseau du Nord et la nature spéciale de leur trafic, moins impérieux que celui des branches principales, apportent donc, dans la construction du matériel de traction, des conditions nouvelles assez importantes dont il faut tenir compte pour abaisser autant que possible les frais d'exploitation de ces lignes.

Ces conditions nouvelles de l'établissement des locomotives d'embranchements, pour le cas particulier du chemin du Nord, peuvent, du reste, se résumer à peu près dans le programme suivant :

1° Combiner convenablement toutes les dispositions d'établissement mécanique, pour qu'en plaçant sur la machine même des approvisionnements suffisants pour 30 kilomètres on ne dépasse pas en marche le poids nécessaire à l'adhérence;

2° Adopter pour effort de traction un effort moyen entre ceux des deux puissants types à marchandises, et, pour vitesse normale, la vitesse de 16 à 20 kilomètres à l'heure;

3° Élever assez la chaudière sur le bâtis pour dégager complétement la boîte à feu des longerons, et pouvoir lui donner telle largeur qu'il faudra, sans avoir à s'inquiéter de la position des roues, qui devront, au besoin, passer sous le cadre du bas du foyer;

4° Ne pas dépasser sur les rails la pression de 11 tonnes par essieu;

5° Réduire assez l'écartement des essieux extrêmes pour franchir sans difficulté les courbes à petits rayons.

Les deux premières conditions conduisent naturellement à une locomotive-tender du poids en charge d'environ 40,000 kilogrammes, présentant un effort de traction théorique maximum de 7,500 kilogrammes.

La quatrième condition (ne pas dépasser la pression de 11 tonnes sous chaque essieu) conduit à l'emploi de quatre paires de roues couplées par bielles, comme cela a eu lieu dans les machines à marchandises, système Engerth, construites au Creusot, et dans la machine viennoise, *Wien-Raab*, qui figurait à l'Exposition universelle.

Les roues de $1^m,06$ de diamètre employées depuis l'origine dans les machines de gare de la Compagnie et dans celles du Sommering satisfont à la cinquième condition en les rapprochant autant que possible les unes des autres. Il est facile, en effet, d'arriver à un écartement total de $3^m,33$, qui permet de passer aisément dans les courbes du plus petit rayon.

Tel est à peu près l'ensemble des considérations générales qui ont guidé M. Petiet, ingénieur en chef de l'exploitation et du matériel, dans la conception de la machine nouvelle, et tel est aussi le programme des études d'exécution qui m'ont été confiées et qui se poursuivent à l'atelier central de la Chapelle.

Comme il est facile de le remarquer sur les dessins :

La machine à fortes rampes porte son eau et son coke;

Elle est montée sur quatre paires de roues couplées par bielles;

La chaudière est placée assez haut sur le bâtis pour dégager complétement la boîte à feu et n'être pas limitée dans sa largeur par l'écartement des longerons ou l'écartement des roues, lesquelles passent avec un jeu suffisant sous le cadre du foyer.

Cette dernière disposition, qui caractérise plus spécialement le projet, présente divers avantages qu'il importe de faire ressortir.

Dès l'instant qu'on était libre de donner au foyer telle largeur qu'on voulait, il devenait très-facile, tout en montant la boîte à feu intérieure à la manière ordinaire, de remplir convenablement de tubes le corps cylindrique, si grand qu'il dût être, sans aucun espace perdu, et par conséquent avec un poids de chaudière moindre

que dans le *système de construction Crampton*, adopté pour les deux puissants types de machines du Nord.

La distance entre les plaques tubulaires ne dépendant plus d'une manière aussi absolue que dans les autres machines de l'écartement des essieux extrêmes, on a pu employer des tubes assez courts, de petit diamètre et à faible épaisseur, qui, pour la même section occupée dans le corps cylindrique, donnent la plus grande surface de chauffe pour un même poids de matière et d'eau.

La grille étant assez élevée au-dessus des rails, il a été possible de placer l'essieu d'arrière sous le foyer sans avoir à craindre le chauffage. Il en est résulté que le porte à faux à l'arrière a été limité à ce qui convenait pour l'égalité de répartition de la charge sur les quatre essieux.

Enfin, dans l'intervalle qui sépare la chaudière du bâtis, on a pu loger convenablement la caisse à eau, et la disposer de telle sorte, que les variations dans le poids des approvisionnements se fissent à peu près également sentir sur chacun des quatre essieux. La construction de cette caisse à eau, d'un seul morceau de chaudronnerie, ne présente d'ailleurs aucune difficulté ; les dimensions sont telles, que toutes les rivures d'assemblage sont parfaitement accessibles.

Les soutes à coke sont de même disposition que celles des machines de gare, des deux machines-tenders, système Crampton, et d'une machine mixte construite par transformation aux ateliers.

Le chargement du feu dans la machine projetée se fera même avec plus de facilité que dans aucun des systèmes ci-dessus.

Le mode de construction générale permet, avec l'emploi des grues roulantes et en démontant préalablement quelques boulons, d'enlever successivement les deux soutes à coke ensemble, puis la chaudière, puis le tender, en mettant ainsi à nu tout le mécanisme attaché au bâtis et faisant système avec lui.

Tout le mécanisme (*propulsion, distribution* et *alimentation*), étant complétement extérieur, présente les mêmes dispositions générales que celui des machines *Crampton* à voyageurs et *Engerth* à marchandises.

La génératrice supérieure de la chaudière est à la même hauteur au-dessus des rails que dans les machines à marchandises dites du *Nord*. Le dessus de la cheminée n'est pas plus élevé que dans le matériel des grandes lignes.

Les pièces qui se rapprochent le plus des rails laissent le même jeu que dans les machines *Engerth;* la plus grande largeur ne dépasse pas celle des dernières machines construites.

Lorsque la machine est en feu et que la caisse à eau et les soutes à coke sont approvisionnées, le poids total, servant tout entier à l'adhérence, ne dépassera très-probablement pas 39,000 kilog., répartis également sur les quatre essieux, soit en moyenne par essieu. . . . . 9,750 kilog.

La suspension est disposée pour conserver constamment en marche cette égalité de répartition de la charge.

L'effort de traction *théorique* pour *sept* atmosphères de pression *effective* est approximativement de.. . . . . . 7,500 kilog.

Dans les machines *Engerth*, fonctionnant aussi à la pression effective de *sept* atmosphères, il est de. . . . . 9,500 kilog.

Dans les machines dites du *Nord*, fonctionnant à une pression effective de *six* atmosphères, il est de. . . . . . 6,100 kilog.

Les dimensions qui servent à calculer l'effort de traction sont consignées dans le tableau suivant pour les trois systèmes de machines en comparaison.

DÉSIGNATIONS.	LOCOMOTIVES		
	A L'ÉTUDE.	ENGERTH.	DU NORD.
Surface de chauffe totale (foyer et tubes).	125 m. q.	194 m. q.	127 m. q
Diamètre des roues couplées.	1m,06	1m,25	1m,45
— des cylindres.	0m,48	0m,50	0m,46
Course des pistons.	0m,48	0m,66	0m,68
Nombre de kilomètres parcourus par heure lorsque les machines fonctionnent à deux tours de roues par seconde.	24	28	32.

Le tableau qui suit donne le nombre approximatif de waggons

à 10 tonnes, remorqués sur différentes inclinaisons de rampes.

INCLINAISONS DES RAMPES PAR MÈTRES.	LOCOMOTIVES		
	A L'ÉTUDE.	ENGERTH..	DU NORD.
0,005, chemin de fer du Nord.	37	45	30
0,010, chemin de ceinture..	26	30	20
0,015, Mons à Hautmont..	20	23	15
0,020, Charleroi-Louvain.	16	18	12
0,025, plus fortes rampes du Sommering. . . .	14	15	10
0,030, plan incliné de Liége.	12	13	9

Les dimensions principales sont consignées dans le tableau suivant.

Grille	Longueur		1^{m},396
	Largeur		1 261
	Surface		1 770
Hauteur du ciel du foyer au-dessus de la grille			1 110
Tubes	Nombre.... (dont 6 petits)		289
	Longueur		3^{m},500
	Diamètre extérieur		0 040
	Épaisseur		0 0015
Surface de chauffe	Foyer		6^{mq},680
	Tubes		117 000
	totale		123 680
Diamètre intérieur du corps cylindrique			1^{m},265
Nombre de cylindrées de vapeur disponibles			19,000
Hauteur de l'axe de la chaudière au-dessus des rails			2^{m},1725
Tension de la vapeur			8^{at}
Diamètre des cylindres			0^{m},480
Course des pistons			0 480
Course des excentriques			0 116
Lumières	Longueur		0 250
	Largeur	Entrée	0 040
		Sortie	0 076
Pompes alimentaires	Diamètre		0 060
	Course		0 480
Manivelle motrice, rayon			0 240
Manivelle d'accouplement, rayon			0 240
Diamètre des roues	1 Avant		1 065
	2		1 065
	3		1 065
	4		1 065

Écartement des essieux	1. . .2.	1^m,104
	2. . .3.	1 097
	3. . .4.	1 . 129
Poids de la machine	Pleine	30^t,410
	Vide	27 000
Pression des deux roues d'un même essieu sur les rails, au départ	1 Avant	9 070
	2.	9 175
	3 Moteur	9 150
	4.	9 015
Contenance de la caisse à eau		4 800
— des soutes à charbon (houille)		1 500
Poids de l'outillage		400^k
Longueur totale de tampon à tampon		7^m, 900
Écartement des essieux extrêmes		3 330
Distance horizontale des pièces les plus saillantes à l'axe de la voie		1 400
Distance aux rails des pièces les plus élevées		4 200
Distance aux rails des pièces les plus basses (extérieur)		0 120
Vitesse des trains, en kilomètres, à l'heure		16^k
Prix de la machine		$57,000^f$
Effort de traction $\frac{P d^2 L}{D}$		$7,268^k$,94
Adhérence ou poids sur les roues motrices		36^t,410

Détails d'exécution.

Chaudière. — La chaudière est de forme dite à diamètres multiples, et montée à dilatation libre de l'avant à l'arrière sur le bâtis.

La prise de vapeur est longitudinale et la boîte de régulateur à l'avant; la vapeur est amenée aux tiroirs par deux tuyaux extérieurs à double enveloppe de feutre et de laiton, contre le refroidissement.

L'échappement variable est obtenu par deux tuyaux, dont l'un, placé dans l'axe de la cheminée, forme échappement fixe, et dont l'autre, branché à la partie inférieure et en avant du premier, lui sert de décharge, en constituant ainsi la variabilité au moyen d'un papillon placé dans le bas, et dont on varie l'ouverture à volonté.

La grille est munie d'un jette-feu.

Les entretoises du foyer sont montées avec écrous à l'intérieur.

Les tubes, dits à épaisseur variable et à bout renflé, sont montés

avec virole dans la boîte à feu, et sans virole dans la boîte à fumée.

La chemise en bois est recouverte de feuilles de laiton de 1 millimètre d'épaisseur.

Les cheminées sont garnies de robinets-souffleurs.

Le cadre du bas du foyer porte, venues de forge, des pattes qui viennent s'attacher sur les longerons.

Mécanisme. — Le mouvement de distribution est semblable à celui des locomotives à marchandises, système Engerth. Il convient toutefois de signaler les particularités suivantes :

Les poulies d'excentriques sont remplacées par des manivelles venues de forge avec la manivelle motrice.

Le levier de changement de marche fait corps avec un arbre de relevage placé à l'arrière du foyer, et portant à ses extrémités des leviers conduisant deux grandes tringles commandant deux équerres de relevage indépendantes, manœuvrant les bielles des tiges de tiroirs.

Bâtis et roues. — Le bâtis se compose de deux longerons évidés et reliés entre eux à l'avant par une caisse en tôle entretoisant les cylindres et servant de support à la boîte à fumée; au milieu, par deux entretoises en tôle bordées de cornières; à l'arrière, par un système de caisses en tôle et par des goussets entre lesquels sont fixés les tampons de choc, le crochet et les chaînes d'attelage; la caisse principale sert de grand coffre à outils. Cet ensemble de caisses supporte le tablier du mécanicien.

Les bandages de la paire de roues d'avant, comme ceux de la paire de roues d'arrière, portent de gros boudins avec écartement de $1^{m},355$; ceux de la deuxième paire portent des petits boudins avec écartement de $1^{m},365$; enfin ceux de la troisième paire sont sans boudins.

Le quatrième essieu est placé sous le foyer, il est garanti de l'action du feu par un cendrier à doubles parois d'une forme appropriée.

Pour faciliter l'égale répartition du poids sur les rails et tenir compte de la différence dans les poids non suspendus des second et troisième essieux, on a employé un ressort commun à branches iné-

gales reportant sur les boîtes à graisse des poids inégaux et complémentaires des poids non suspendus.

Les boîtes à graisse sont en fer cémenté et trempé; les glissières en fonte.

La caisse à eau, d'un seul morceau de chaudronnerie, placée entre la boîte à feu et la boîte à fumée, embrasse le corps cylindrique, et est fixée sur les longerons.

Les soutes à charbon, faisant corps avec le tablier du mécanicien, reposent sur le grand coffre d'arrière et sur les équerres fixées après la boîte à feu.

Un frein à vis actionne les deux roues du quatrième essieu, il est à deux sabots articulés aux bielles de suspension qui sont fixées après les longerons.

MACHINES-TENDERS

TYPE D'ORLÉANS.

Ces machines, destinées à la composition des trains et à faire le tirage des waggons dans les gares, sont des machines-tenders à cylindres extérieurs, chaudière cylindrique sans dôme, roues d'arrière à l'avant de la boîte à feu, six roues couplées de $1^m,077$ de diamètre. Le mécanisme de distribution est extérieur, les tiroirs sont inclinés au-dessus des cylindres, les excentriques sont montés sur une manivelle coudée placée à l'extérieur des essieux d'arrière. Les caisses à eau sont placées sous la chaudière entre les longerons, les roues et les essieux: leur capacité, qui n'était que de 2 mètres cubes, a été portée à 2,650 litres dans les dernières machines qui viennent d'être construites pour les lignes de l'Est par M. Kœchlin, d'après le modèle étudié par M. Polonceau au chemin d'Orléans. Les soutes à coke, qui sont situées sur le tablier, à l'intérieur des rampes, ont aussi été augmentées. Le frein agit sur les deux roues d'arrière.

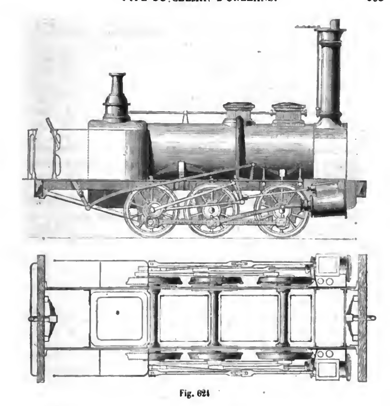


Fig. 624

Les dimensions principales de ces machines sont les suivantes :

Diamètre des cylindres		0m,400
Course des pistons		0 460
Longueur de la bielle		1 350
Diamètre des roues au contact	Avant	1 077
	Milieu	1 077
	Arrière	1 077
Nombre de tubes		157
Longueur des tubes		3m,365
Diamètre intérieur des tubes		0 045
Surface de chauffe des tubes		68mq,3287
— du foyer		5 0497
— totale		73 3784
Poids total de la machine vide		22t,120
— — avec coke et eau		26 855

Poids détaillé de la machine pleine sur les rails.	Avant..	7t 935
	Milieu.	9 585
	Arrière.	9 335
Écartement des essieux extrêmes.		2m ,600
— d'axe en axe des cylindres.		2 000
Inclinaison des cylindres.		3° ,16
Écartement des roues entre les bandages.		1m 365
Longueur de la grille.		0 920
Largeur de la grille.		0 920
Surface de la grille.		0m²,3464
Hauteur du 1er rang de tubes au-dessus de la grille.		0m ,600
Hauteur du foyer.		1 220
Diamètre horizontal intérieur du corps cylindrique.		1 116
Diamètre vertical intérieur du corps cylindrique.		»
Longueur du corps cylindrique.		3 240
Volume d'eau contenu dans la chaudière avec 100 millim. d'eau au-dessus du foyer.		2m³,290
Volume de vapeur.		0 815
Volume total de la chaudière.		3 105
Longueur intérieure de la boîte à fumée.		0m ,735
Largeur transversale de la boîte à fumée.		1 116
Capacité de la boîte à fumée.		0m³,7177
Diamètre intérieur de la cheminée.		0m ,340
Hauteur au-dessus de la boîte à fumée.		1 980
Section du tuyau d'échappement.		0 0113
Section maxima de la tuyère d'échappement.		0 0156
Section minima — —		0 0026
Angle d'avance des excentriques.		17° ,28
Recouvrement extérieur (de chaque côté).		0m ,017
Maximum d'introduction de vapeur (en millim. de la course).		0 345
Minimum — — —		0 147
Rayon d'excentricité.		0 060
Course des tiroirs.		0 080
Lumières d'admission.	Longueur.	0 250
	Largeur.	0 035
	Section.	0 0087
Longueur développée du conduit d'admission.		0 320
Volume d'eau du tender.		2m³ 000
Poids du coke.		550k
Poids du tender vide.		»
— plein.		»

Ces machines peuvent traîner trente-cinq waggons dans les gares. La consommation est de 50 à 60 kilos de coke de Sarrebruck par heure de manœuvres, ce qui correspond à 8k,50 à 10 kilos par kilomètre parcouru en mouvements de gare. Elles font un excel-

lent service; aucune machine destinée à remorquer des trains ne fait aussi rapidement ni aussi économiquement le travail spécial pour lequel celles-ci sont construites; par contre elles manqueraient de surface de chauffe et de grille pour produire la vapeur si on les appliquait au service ordinaire des trains.

TYPE D'AUTEUIL.

La machine avec son tender, la chaudière étant remplie d'eau et le tender portant sa charge, pèse 32 tonnes. Le frein agit en même temps sur les deux roues d'arrière de la machine proprement dite et sur les deux roues portant le tender. On presse sur les sabots au moyen de deux pistons de 35 centimètres de diamètre avec une très-petite course. La vapeur est introduite dans les cylindres qui contiennent ces deux pistons à l'aide d'une manette horizontale qui fait glisser un tiroir. La même manette sert à conduire la vapeur dans le tender quand la machine est en stationnement.

Une autre manette semblable, placée symétriquement de l'autre côté de la chaudière, sert à introduire la vapeur dans deux cylindres dont les pistons communiquent le mouvement à des pompes alimentaires; cette machine auxiliaire, qui seule fait marcher les pompes, est de la force de deux chevaux. Enfin on remarque au-dessus de la chaudière deux sifflets. Le son de l'un est grave, l'autre est aigu; ils servent ainsi à donner des signaux différents.

Le frein à vapeur est très-puissant, mais on ne peut le faire agir que si la machine est en vapeur. Il est vrai que, à l'exception du cas où elle descend d'elle-même sur de fortes pentes, on n'est pas appelé à en faire usage.

DIMENSIONS PRINCIPALES.

Diamètre du corps cylindrique		1m,200
Longueur de la boîte à feu (extérieurement)		1 250
Largeur de la boîte à feu (extérieurement)		1 224
Longueurs intérieures du foyer (moyennes)	Haut.	1 049
	Bas.	1 049
Largeur intérieure du foyer (moyenne)		1 002

Hauteur du foyer au-dessus de la grille		1^{m},340
Longueur des tubes entre les plaques tubulaires		3 185
Diamètre extérieur des tubes		0 044
Nombre de tubes		152
Surface de chauffe	du foyer	6^{mq},000
	des tubes	69 000
	totale	75 000
Surface de la grille		1 051
Diamètre des roues	Avant	0^{m},950
	Milieu	1 600
	Arrière	1 600
Écartement des essieux	d'arrière et d'avant	3 650
	d'arrière et du milieu	2 330
	du milieu et d'avant	1 320
Hauteur de l'axe de la chaudière au-dessus du rail		1 800
Diamètre des cylindres		0 460
Course des pistons		0 700
Volume de l'eau dans la chaudière		2^{m3},400
Volume de vapeur		1 300
Timbre de la chaudière		8^{at}
Volume de l'eau dans les caisses		2^{m3},900
Poids du coke dans les caisses		800^{k}
Poids de la machine vide		27^{t},000
Poids sur les roues	d'avant	7 700
	du milieu	10 000
	d'arrière	9 300
Poids de la machine pleine		33 100
Poids sur les roues	d'avant	8 900
	du milieu	12 100
	d'arrière	12 100
Poids sur les roues motrices		24 200
Poids du tender	Vide	»
	Plein	»
Effort de traction à la circonférence des roues		4 303
Diamètre des roues du tender		»
Écartement des essieux du tender		»
Longueur de la machine de tampon à tampon		7^{m},750
Écartement des essieux extrêmes de la machine et du tender attelés		3 640
Longueur totale de tampon à tampon		7 750
Écartement des axes des cylindres		1 976
— — des tiges des tiroirs		2 176

MACHINES AMÉRICAINES

Description générale.

Nous empruntons la description de ces machines aux dernières livraisons de l'ouvrage que publient MM. Kinnear Clark et Zerah Colburn, sur les progrès de la locomotion par la vapeur en Angleterre et aux États-Unis.

Les différents modèles de machines du type américain en usage aux États-Unis avant 1850 ont été presque tous abandonnés pour faire place à un modèle unique représenté fig. 625. Les machines de ce modèle sont employées pour le service des marchandises aussi bien que pour celui des voyageurs.

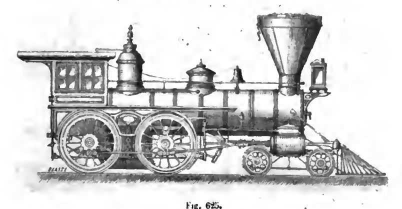


Fig. 625.

Elles diffèrent essentiellement des machines anglaises : 1° par l'indépendance des roues d'avant, dont les essieux ne sont pas, comme dans les machines anglaises, forcément parallèles à ceux des roues d'arrière ; 2° par le nombre des roues ; 3° par la forme de la cheminée, disposée de manière à prévenir autant que possible la projection au dehors des nombreuses étincelles que produit la combustion du bois ; 4° par l'existence auprès du foyer d'une cabine ayant pour objet d'abriter le mécanicien ; 5° par l'emploi d'une cloche sur le corps cylindrique de la chaudière ; 6° par l'exis-

tence d'un appareil particulier placé en avant de la machine, et destiné à écarter le bétail, qui, en raison du défaut de clôtures sur les chemins américains, traverse quelquefois les voies (*cow-catcher*).

Dômes et prise de vapeur. — Dans ces nouvelles machines, on a abandonné le dôme pyramidal ou semi-sphérique placé, dans les anciennes machines, au-dessus du foyer, ainsi que le foyer cy-

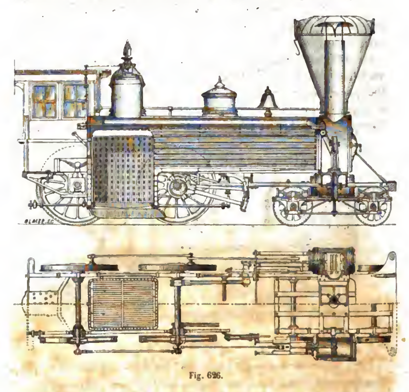


Fig. 626.

lindrique si commun dans les anciennes machines représentées fig. 467, page 589, et 481, page 407.

La boîte à feu est très-élevée et raccordée au corps cylindrique par une partie inclinée. La prise de vapeur a lieu en même temps sous deux dômes cylindriques, l'un placé au-dessus du foyer, l'autre au milieu du corps cylindrique ou à l'extrémité voisine de la cheminée.

Le réservoir de vapeur se trouve de cette manière avoir une grande capacité, ce qui est nécessaire dans les machines américaines, qui, pour vaincre les résistances considérables que présente le tracé des chemins de fer aux États-Unis, doivent produire une grande quantité de vapeur.

Châssis et cylindres. — Le châssis est toujours simple et placé à l'intérieur des roues.

Les cylindres sont toujours extérieurs et les essieux droits.

Mécanisme. — La glissière Stephenson a été adoptée par la plupart des constructeurs.

Tiroirs. — Les cylindres sont horizontaux ou à peu près. Les tiroirs se trouvent au-dessus et sont mis en mouvement au moyen d'un système d'arbres et de leviers.

Pompes. — Les tiges des pompes sont assemblées avec celles des pistons des cylindres à vapeur, en sorte que les plongeurs et les pistons ont la même course.

Répartition du poids. — On fait porter 2/3 du poids sur les roues couplées d'arrière, et 1/3 sur les roues d'avant.

L'équilibre de la machine s'établit au moyen de contre-poids convenablement calculés.

Ressorts. — Les ressorts des roues motrices sont reliés par des leviers compensateurs.

Décoration de la machine. — Les machines américaines sont décorées avec une grande élégance. Les ingénieurs n'ont épargné dans leur construction, pour en améliorer l'aspect, ni les bois précieux, ni le métal poli, ni les moulures.

Machines très-puissantes. — Pour certaines machines destinées à remorquer des convois très-chargés de charbon sur de fortes pentes, on a employé dix roues, dont six à l'arrière sont couplées, et dont les quatre d'avant appartiennent à un train particulier. On obtient de cette manière une plus grande adhérence.

Machines à grande vitesse. — Norris a aussi construit pour le service à grande vitesse des machines dans le système Crampton, avec les grandes roues à l'arrière, analogues aux machines badoises.

Les pompes sont toujours réunies au tender par des tuyaux flexi-

bles en toile enduite de caoutchouc, et contenant un ressort en spirale.

Machines auxiliaires d'alimentation. — On a souvent tenté l'emploi de petites machines à vapeur distinctes pour l'alimentation, et on y a renoncé à cause de l'embarras qu'elles occasionnaient.

On a aussi essayé différents moyens de chauffer l'eau d'alimentation, tantôt en se servant de la chaleur perdue dans la boîte à fumée, tantôt en distrayant une partie de la vapeur qui s'échappe. Aucun de ces moyens ne semble être parfaitement efficace, mais on fait généralement passer la vapeur de la machine en stationnement dans le tender, comme dans les machines européennes.

Roues, ressorts, etc. — Les roues motrices des machines américaines sont généralement en fonte avec 14 ou 16 rais. Celles des machines à marchandises, de $1^m,07$ à $1^m,37$ de diamètre seulement, sont quelquefois coulées pleines. On tend à leur substituer les roues en fer forgé.

Les roues en fonte sont fabriquées par des procédés particuliers, que nous nous abstiendrons de décrire.

Les ressorts des machines américaines diffèrent peu de ceux des machines européennes. On préfère généralement, en Amérique, les boulons avec brides embrassant les extrémités du ressort aux boulons traversant le ressort. Les feuilles d'acier ont rarement plus de 8 millimètres d'épaisseur; souvent elles n'ont que 4 millimètres. Quelquefois, pour augmenter l'élasticité de la suspension, on interpose des bandes de gomme élastique entre le châssis et les brides qui enveloppent les extrémités des ressorts. On se sert aussi, quoique rarement, de leviers compensateurs. On ne fait jamais usage, pour les marchandises, des ressorts en spirale ou en caoutchouc employés pour les waggons.

La machine est toujours liée invariablement au tender, et ce n'est que rarement qu'on intercale un ressort de traction entre le tender et le train.

Coulisse et règlement des tiroirs. — Depuis quelques années, on varie presque exclusivement la détente, dans les machines américaines, au moyen de la coulisse Stephenson. La coulisse mobile est

plus répandue que la coulisse fixe. Le mode de suspension de la coulisse est la suite d'essais qui donnent des résultats différents, suivant les proportions variables adoptées par les constructeurs. Ainsi, dans certaines machines, le point de suspension se trouve exactement au centre de la coulisse; dans celle de Mason il est placé à 0m,06 au-dessus du centre, et, dans d'autres, à des distances variables, en avant ou en arrière du centre. Le rayon de la coulisse, qui, dans quelques machines, est égal à la distance du centre de l'excentrique au centre de la coulisse, est, dans celles de la fabrique de Taunton, de 0m,05 plus grand, et, dans celles de Rogers, de 0m,15 plus petit.

Le maximum d'admission de la vapeur, dans les machines américaines, est généralement de 90 pour 100 de la course, lorsqu'il n'est que de 66 pour 100 dans la plupart des machines anglaises. Le minimum est de 35 pour 100.

En général, voulant utiliser toute la puissance de la machine en cas de besoin, on ne donne aux tiroirs qu'un faible recouvrement, 0m,02 quelquefois, et 0m,25 plus souvent, pour une course de 0m,12.

Les lumières pour des cylindres de 0m,38 ont rarement moins de 0m,35 de longueur. MM. Niles et Cie leur ont donné jusqu'à 0m,47. La largeur varie de 0m,02 à 0m,04 pour l'introduction et de 0m,051 à 0m,09 pour l'échappement.

La coulisse des machines américaines est ordinairement en fer trempé en paquet d'une seule pièce. On s'est servi aussi de coulisses en fonte qui se sont fort bien comportées.

On a fait aux Etats-Unis d'assez nombreux essais, dans le but de remédier aux défauts de la coulisse Stephenson. Nous renvoyons ceux de nos lecteurs qui désireraient en prendre connaissance à la neuvième livraison de l'excellent ouvrage de MM. Clark et Zerah Colburn, déjà cité plus haut.

Cabine du mécanicien. — La cabine du mécanicien, indiquée dans la figure 625, est placée en arrière de la boite à feu. Les fenêtres ménagées sur le côté et à l'avant sont fermées par des châssis mobiles à vitres. Des sièges garnis servant de coussins donnent place au mécanicien et au chauffeur. Quelquefois la cabine peut

être fermée du côté du tender par des rideaux. Les panneaux sont en bois variés de premier choix.

Un timbre est établi dans la cabine au-dessus de la tête du mécanicien. Tout auprès se trouve un marteau avec lequel les voyageurs peuvent frapper sur ce timbre par l'intermédiaire d'une corde aboutissant à chaque waggon du train. Ce timbre fonctionne parfaitement, et on ne cite aucun exemple de cas où les voyageurs en auraient fait usage mal à propos.

Sifflets. — Les sifflets sont généralement très-puissants. Ils n'ont pas moins de $0^m,11$ de diamètre.

Cloche. — La cloche a $0^m,15$ de hauteur et pèse au moins 30 kilogrammes. Quelquefois elle pèse plus de 100 kilogrammes. On la met en mouvement à 400 mètres au moins des passages à niveau, et on continue à sonner jusqu'au delà du passage.

Boite à sable. — Chaque machine est munie d'une boîte renfermant du sable dont on fait usage toutes les fois que les roues manquent d'adhérence.

Manomètre et robinets d'épreuve. — Le manomètre de Bourdon est le plus répandu.

Le nombre des robinets d'épreuve est de trois au moins. Il s'élève quelquefois jusqu'à sept.

Les machines, sur les chemins à double voie en Amérique, marchent toujours sur la ligne de droite, tandis qu'en Angleterre elles marchent sur celle de gauche.

Lampe. — La lampe, dans toutes les machines américaines, se trouve en avant de la cheminée, comme l'indique la figure 625. Elle est accompagnée d'un réflecteur parabolique de $0^m,45$ à $0^m,55$ de diamètre, plaqué en argent, qui projette la lumière jusqu'à 300 mètres en avant. — Les lampes sont alimentées par de l'huile ou par du gaz.

Cow-catcher. — L'appareil désigné sous le nom de *cow-catcher* est suffisamment représenté figure 625. Sur certains chemins de l'Ouest, la longueur horizontale de l'appareil, fait en bois, est de $1^m,80$, et sa distance des rails n'est que de $0^m,06$. Le poids excède quelquefois 500 kilogrammes.

Tenders. — Les tenders des machines américaines sont généralement à huit roues.

La caisse à eau repose sur deux trucks séparés, comme celles des waggons. La charge repose au centre du truck d'avant et sur trois points différents du truck d'arrière. Ces trucks portent de 5,450 à 9,080 litres d'eau et $3^{mc},600$ à $10^{mc},000$ de bois.

Le tender est toujours muni d'un frein puissant. Toutes les voitures du train généralement portent aussi des freins.

Trucks (bogie-frame). — Les boîtes du truck sur lequel s'appuie la partie antérieure de la machine sont ordinairement intérieures seulement; quelquefois cependant elles sont intérieures et extérieures, rarement extérieures seulement.

La pièce principale du truck est un cadre rectangulaire en fer forgé de $0^{m},10$ sur $0^{m},013$, au-dessous duquel sont boulonnées les plaques de garde. La machine repose le plus souvent sur le centre du truck, et la charge se répartit sur une surface circulaire de $0^{m},20$ à $0^{m},30$ de diamètre. Lorsque les points d'appui se trouvaient à une certaine distance du centre, le mouvement de rotation s'opérait difficilement, surtout dans les courbes de petit rayon. Dans les machines de Mason, toutefois, le grand châssis de la machine repose sur le truck par l'intermédiaire de rouleaux de grand diamètre, dont l'axe est lié à sa partie inférieure avec le cadre, ou directement avec les ressorts.

Ces trucks se meuvent facilement, mais la charge, en cas de déplacement accidentel de la voie, est mieux répartie dans les trucks où la charge porte sur le centre.

Cylindres, boîtes à vapeur et tiroirs. — Les cylindres des machines américaines sont toujours coulés entièrement ouverts aux deux bouts, tandis que, dans les machines anglaises, ils portent souvent à leur extrémité postérieure une saillie intérieure, le trou circulaire qu'enveloppe la saillie étant alors fermé par un couvercle introduit par l'extrémité antérieure, s'appliquant contre la face intérieure de la saillie.

Les boîtes à vapeur ne sont jamais coulées d'une seule pièce avec le cylindre. Elles sont coulées séparement et assemblées avec le cylindre au moyen de boulons.

Les tiroirs fonctionnent bien sur une table en fonte dure; toutefois quelques constructeurs, craignant que, par suite des variations de course correspondant aux variations de détente, l'usure fût inégale, ont vissé au siége une plaque d'acier percée pour le passage des lumières, et ils ont fait usage de tiroirs en laiton. Nous indiquerons plus loin quelles sont les dimensions données le plus communément aux tiroirs.

Pistons. — Les pistons des machines américaines rentrent généralement dans la catégorie des pistons à ressort, que l'on tend aujourd'hui, en France, à abandonner.

L'étoupe de la boîte que traverse la tige du piston a été quelquefois remplacée avec avantage par une garniture métallique. Le métal employé dans ce cas est un alliage de 9 d'étain et de 1 de cuivre.

Glissières, coquilles, bielles. — Les glissières, coquilles et bielles des machines américaines ont une grande analogie avec celles des machines européennes. Les coulisseaux étant en fonte, les glissières sont en fer; mais, si les coulisseaux sont en laiton, ce qui est rare, elles sont aciérées. La longueur des bielles, dans les machines américaines, est rarement inférieure à 3 1/2 fois celle de la course du piston.

Pompes. — Nous avons déjà indiqué que les tiges des pompes, dans les machines américaines, étaient fixées invariablement aux tiges des pistons à vapeur. La course du plongeur étant, dans ce cas, égale à celle du piston à vapeur, on a dû adapter, pour obtenir un jeu parfaitement régulier, des chambres à air, tant au tuyau d'aspiration qu'au tuyau de refoulement. On ne fait pas usage en Amérique, pour les pompes, de soupapes à boulet, comme dans nos machines européennes. La soupape de ces machines est une espèce de clapet cylindrique évidé, fonctionnant comme un boulet. La course de ces soupapes dépasse rarement $0^m,006$; et souvent, celle de la soupape d'introduction étant de $0^m,006$, celle de la soupape de refoulement est de $0^m,005$, et de la soupape de retenue de $0^m,003$ seulement.

Châssis. — Le châssis de la plupart des machines américaines se compose de deux longerons placés à l'intérieur des roues, réunis

par des traversines. Les longerons sont en fer et ont 0^m,10 sur 0^m,05. Ils sont posés de champ.

Les plaques de garde sont quelquefois boulonnées aux longerons; plus généralement elles sont réunies dans le bas entre elles par des barres horizontales, et aux extrémités des longerons par des barres inclinées.

Le châssis est fixé à la chaudière au moyen d'attaches rigides placées de 0^m,90 en 0^m,90. Ces attaches ont plutôt pour objet de donner de la rigidité au châssis que d'en donner à la chaudière, qui, bien que composée de tôle mince comparativement à celle employée dans les chaudières anglaises, participe à tous les efforts exercés sur le mécanisme.

La convenance de cette disposition, bien qu'au premier abord elle ne paraisse pas préjudiciable à la chaudière, est, à nos yeux, fort douteuse; le châssis d'Amoskeag, avec longerons hauts de 0^m,20 à 0^m,23 et épais de 0^m,025, nous semble mériter la préférence. Il est en même temps d'une grande solidité et d'une grande simplicité, et il se prête admirablement à l'assemblage de toutes les parties qui viennent s'y relier.

Dans les machines de Baldwin, on forge sur le châssis des oreilles pour recevoir les saillies du cylindre, ainsi que les bâtis et les plaques de garde, qui sont assujetties non-seulement par des boulons, mais encore par des coins.

La chaudière n'est reliée au châssis d'une manière parfaitement rigide que dans le voisinage de la boîte à fumée, où les cylindres sont solidement attachés par des boulons, en même temps au châssis et à la boîte à fumée. A l'autre extrémité, celle de la boîte à feu, un long support en fer cornière repose sur la face supérieure du châssis, auquel il est fixé par une plate-bande de fer qui s'étend dans toute la longueur du support, et qui est boulonnée à ses extrémités.

On ménage du jeu, de manière que la chaudière puisse s'allonger ou se raccourcir de 0^m,006 dans toute sa longueur. On retrouve la disposition ci-dessus décrite du support et de la plate-bande de fer dans la barre qui réunit les plaques de garde entre elles.

Les attaches servant à fixer le corps cylindrique au châssis sont boulonnées. Mais celles qui sont voisines de la boîte à fumée ont l'une de leurs faces plate à l'intérieur, tandis que l'inverse a lieu pour celles voisines de la boîte à feu. De cette manière, les dernières peuvent ployer en se prêtant aux mouvements de la chaudière.

Mode d'attache des cylindres extérieurs à la chaudière. — La plus grande difficulté que l'on ait rencontrée lorsqu'on a substitué les cylindres extérieurs aux cylindres intérieurs a été celle de fixer solidement les cylindres à la boîte à fumée. On y est parvenu cependant, et l'une des meilleures dispositions adoptées dans ce but par les constructeurs américains est celle des machines de Roger. Voici quelle est cette disposition.

Les parois latérales de la boîte à fumée rectangulaire ont $0^m,01$ d'épaisseur et sont consolidées par des espèces de pattes de $0^m,008$ placées à l'intérieur. Le fond est une plaque de $0^m,015$, qui s'étend au delà de la boîte à fumée, de manière à reposer sur les longerons du châssis. Un anneau très-solide mesurant $0^m,10$ sur $0^m,006$ est fixé à l'intérieur du bord extrême de la boîte à fumée. Les parois latérales sont réunies par une barre de forte dimension et deux grands boulons ronds s'étendant diagonalement d'un des angles extérieurs de la partie extrême de la boîte à fumée au corps cylindrique de la chaudière. Une plaque en fonte fermant la boîte à fumée est vissée à l'anneau qui enveloppe la boîte. Chaque cylindre porte une saillie plate de $0^m,10$ de largeur reposant sur le prolongement de la plaque de fond de la boîte à fumée. Le tout est fixé au moyen de six boulons de $0^m,03$ soigneusement tournés et logés dans des trous bien alesés. La saillie du cylindre enfin se reploie sur une longueur de $0^m,38$ sur le côté de la boîte à fumée auquel il est solidement boulonné.

L'assemblage des cylindres et de la boîte à fumée, dans les machines de Norris, a une grande analogie avec celui des machines de Roger. Il en diffère cependant en ce que, dans les machines de Norris, la plaque de fond en tôle de Roger est remplacée par une plaque épaisse en fonte, avec saillies verticales tournées du côté de l'intérieur de la boîte à fumée.

Lorsque la boîte à fumée est ronde et composée de plaques de tôle de $0^m,006$ d'épaisseur, l'assemblage a lieu, dans les machines de Mason, au moyen d'une espèce de boîte en fonte, assujettie aux longerons du châssis et suivant la courbure de la boîte à fumée, à laquelle elle est boulonnée. Cette pièce de fonte, arrasée avec les faces supérieures des longerons, porte des saillies qui s'appliquent contre les faces latérales et inférieures. Les cylindres sont solidement boulonnés aux faces verticales extérieures de cette pièce, et, au moyen d'une saillie horizontale assez large, aux faces horizontales. Toutes les surfaces en contact sont planées. Le poids de la pièce d'assemblage en fonte est d'environ 500 kilogrammes

Nous ne décrirons pas plusieurs autres modes d'assemblage qui diffèrent peu des précédents.

Foyer. — Le foyer des machines américaines n'est pas généralement en cuivre, comme en Europe; il est en fer, et l'on donne aux plaques de fer une faible épaisseur, non-seulement afin de faciliter la transmission de la chaleur, mais aussi parce que l'on peut alors compter avec plus de certitude sur la bonne qualité du métal. L'assemblage des parois n'a jamais lieu au moyen de fer d'angle. Il se fait en recourbant les feuilles de tôle.

L'épaisseur des parois latérales varie de $0^m,006$ à $0^m,007$.

Souvent on emploie pour le ciel une feuille spéciale qui a de $0^m,007$ à $0^m,01$ d'épaisseur. D'autres fois on recourbe les parois latérales, et elles se rejoignent dans le milieu du ciel, où elles sont assemblées par des rivets.

La plaque tubulaire, malgré la pression qu'elle doit supporter, n'a généralement pas au delà de $0^m,006$ à $0^m,007$ d'épaisseur.

La distance entre les parois intérieures et extérieures du foyer, dans les machines où l'on brûle du bois, ne dépasse pas $0^m,05$. Elle doit être de $0^m,08$ au moins si l'on veut éviter de brûler les plaques dans les machines où l'on brûle du charbon.

La circulation dans une couche d'eau mince d'une certaine profondeur étant toujours difficile, on a imaginé, au chemin de *Hudson River*, d'intercaler pour la faciliter, entre les deux parois et à égale distance de chacune d'elles, une plaque mince

en tôle, en sorte que le courant d'eau chaude monte le long de la paroi contiguë au foyer, et redescend le long de la paroi extérieure.

Corps cylindrique. — Le corps cylindrique est composé de feuilles qui s'emboîtent les unes dans les autres comme les anneaux d'un télescope, l'anneau du plus grand diamètre se trouvant le plus voisin du foyer; ces anneaux sont disposés de manière que la partie supérieure de l'enveloppe soit horizontale, tandis que la partie inférieure est inclinée, ce qui favorise le glissement des dépôts de l'avant à l'arrière de la chaudière.

Tubes. — On dispose les tubes par rangées verticales, afin de faciliter la circulation de l'eau. Ces tubes, dans les machines où l'on brûle du bois, sont généralement en cuivre rouge, qui est d'un prix environ 25 pour 100 plus élevé que celui du laiton. On le préfère parce qu'il est moins sujet à devenir fragile dans l'opération du rivage des tubes, et que sa grande malléabilité en facilite l'assemblage avec les plaques tubulaires des extrémités du corps cylindrique.

Dans les machines où l'on fait usage de charbon comme combustible, les tubes en cuivre rouge se détruisent trop rapidement par le frottement des particules qu'emporte le courant d'air, aussi leur préfère-t-on les tubes en laiton ou en fer. Les tubes en fer, depuis quelques années, obtiennent la préférence; mais il faut qu'ils soient recuits aux deux bouts avec précaution; quelquefois on soude de petits tubes en cuivre aux extrémités.

Les tubes en fer posés avec les soins nécessaires donnent toute satisfaction. Ils transmettent la chaleur aussi bien que le cuivre et le laiton, et ont une roideur qui les empêche de se déformer. Avec les tubes en fer, on supprime entièrement les viroles; avec les autres tubes on ne les emploie que du côté de la boîte à feu.

Les viroles se font en fonte. Ce métal se dilatant uniformément par la chaleur, les viroles en fonte procurent une fermeture plus hermétique que celles en fer. Elles doivent être un peu plus épaisses que celles en fer, et, par suite, sont plus nuisibles au tirage.

Les tubes ayant anciennement $0^m,045$ de diamètre, on a porté

ce diamètre, dans les machines les plus nouvelles, à $0^m,051$, et on a constaté qu'il se produirait plus de vapeur avec 140 tubes de $0^m,051$ de diamètre qu'avec 160 de $0^m,045$, bien que la surface de chauffe fût la même dans les deux cas.

Cheminée. — La cheminée des machines américaines présentait anciennement la disposition de la figure 627, connue sous le nom de *bonnet-pipe*. Un déviateur conique avec un bord recourbé est placé à quelques pouces au-dessus d'une cheminée ordinaire. Le courant d'air se trouve ainsi renversé à la sortie de la cheminée, et les étincelles retombent par leur poids dans l'enveloppe de la cheminée, tandis que la fumée et la vapeur s'échappent au travers d'un tamis en fil de fer ou *bonnet* plein au sommet. On a perfectionné cet appareil en établissant au-dessous du déviateur conique un certain nombre d'aubes courbes, de manière à imprimer aux étincelles un mouvement giratoire qui les rejette contre les parois de l'enveloppe, d'où elles tombent dans le fond. Cet appareil est parfaitement efficace. On lui reproche seulement de nuire un peu au tirage, ce qui fait que sur quelques chemins on est revenu au *bonnet-pipe*.

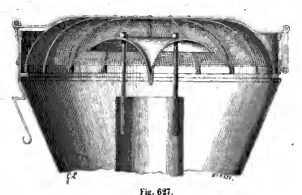


Fig. 627.

Boites à fumée. — Les boites à fumée rondes obtiennent assez généralement la préférence. Elles sont plus solides, moins coûteuses, et, eu égard à leur faible capacité, elle sont plus favorables au tirage.

Plaques de garde. — Les plaques de garde sont, avons-nous dit, ordinairement soudées aux longerons du châssis. Dans le châssis d'Amoskeag, elles sont découpées dans la même plaque de fer que les longerons. Le frottement des boîtes à graisse a lieu entre ces boîtes et des coins intercalés dans les plaques de garde; les coins sont fixés par des boulons et maintenus par les saillies des boîtes à graisse. Les parties frottantes doivent être plutôt en fonte qu'en fer.

CHAPITRE XV

DÉTERMINATION, PAR LE CALCUL ET PAR L'EXPÉRIENCE, DES RÉSISTANCES AU MOUVEMENT DES WAGGONS SUR LES CHEMINS DE FER.

Nous avons eu déjà l'occasion de parler des résistances que le moteur éprouve pour remorquer les waggons sur les chemins de fer. L'étude analytique et numérique de ces forces est du plus grand intérêt pour l'ingénieur; elle sert de base à tous les calculs qu'il entreprend dans le but de déterminer autant que possible l'influence qu'exercent, sur les frais d'exploitation, le tracé et le profil de la voie et le mode de construction du matériel roulant; elle lui permet de déterminer d'avance, au moins par approximation, les résultats qu'il obtiendrait en apportant certaines modifications à ce matériel ou à ses moteurs.

Quand un waggon se meut sur une portion de voie droite et de niveau, les résistances normales qu'il éprouve sont de trois espèces, savoir :

1° Le frottement des fusées qui tournent dans les boîtes à graisse;

2° Le frottement des roues qui se meuvent sur les rails, frottement dû à une déformation imperceptible des roues et des rails.

3° La résistance qu'oppose l'air au mouvement des waggons.

Indépendamment de ces résistances normales, il éprouve des résistances accidentelles, telles que celles dues à l'action du vent, aux inégalités de la voie, etc.

Les premières peuvent être seules soumises au calcul.

DÉTERMINATION ANALYTIQUE DES RÉSISTANCES NORMALES.

Résistance en plaine et en ligne droite.

Résistance due aux frottements. — Le mouvement de translation du waggon sur la voie donne lieu à un mouvement de rotation des roues et essieux.

Chaque élément superficiel des fusées se trouve successivement et d'une manière continue en contact avec un même élément des coussinets; il y a donc glissement des fusées sur les coussinets, et, par conséquent, frottement.

Le frottement de glissement, d'après Coulomb et Morin, est proportionnel à la pression; il varie avec la nature et l'état des surfaces et avec l'enduit; mais il est indépendant de l'étendue de ces surfaces et de la vitesse[1].

Soit donc :

P la pression exercée par les coussinets sur les fusées, ou, autrement dit, le poids du waggon et de sa charge, moins celui des roues et essieux ;

f le coefficient de frottement, c'est-à-dire le rapport du frottement à la pression (rapport qui variera avec la matière dont sont composés les fusées et les coussinets, avec le fini de leur exécution et le mode de graissage);

Le frottement des fusées contre les coussinets sera :

$$fP.$$

Soit R le rayon des roues;

Et r le rayon des fusées;

Pour un tour de roues le waggon parcourra sur les rails un espace $= 2\pi R$. Chaque point des fusées sur les coussinets un autre espace $= 2\pi r$.

Tandis que le waggon parcourra un espace $= 1$, les fusées glisseront donc d'une quantité $\frac{2\pi r}{2\pi R} = \frac{r}{R}$.

[1] Nous verrons plus loin que de nouvelles expériences paraissent établir que le frottement de glissement diminue quand la vitesse augmente; il paraîtrait même qu'il n'est pas tout à fait indépendant de l'étendue de la surface.

Le travail du frottement des fusées sera par conséquent pour ce même parcours :

$$fP\frac{r}{R}.$$

Le frottement des roues contre le rail est un frottement de roulement[1], car chaque élément de la jante des roues est mis successivement et d'une manière continue en contact avec un élément différent du rail. — *Admettons que le frottement de roulement est proportionnel à la pression; qu'il varie avec la nature et l'état des surfaces en contact; mais qu'il est indépendant de l'étendue de ces surfaces et de la vitesse.*

Soit p le poids des roues et essieux, $P+p$ sera la pression totale que les roues exercent sur les rails, f' le coefficient de frottement;

Nous aurons pour l'expression du travail du frottement de roulement pour un parcours égal à l'unité de distance :

$$f'(P+p).$$

La résistance au pourtour des roues varie avec la grandeur de la roue, car on sait que les grandes roues passent plus facilement par-dessus les obstacles que les petites. L'expérience donnera donc des valeurs variables pour f', suivant que les roues seront plus ou moins grandes. Mais les roues des waggons étant toutes de même diamètre ou à peu près, et la résistance au pourtour étant très-faible, f' peut être considéré comme un coefficient constant pour des surfaces de contact semblables.

Résistance de l'air. — Lorsqu'un corps se meut dans un fluide indéfini en repos, l'atmosphère, par exemple, il éprouve une résistance de la part de ce fluide.

De nombreuses expériences entreprises pour déterminer les lois et l'intensité de cette résistance ont donné les résultats suivants, que nous empruntons à l'ouvrage de M. de Pambour.

[1] Cette expression est impropre, car la résistance au pourtour de la roue n'est pas réellement un frottement, c'est une résistance semblable à celle que la roue éprouverait pour passer par-dessus un obstacle. Nous conserverons toutefois l'expression de frottement de roulement, parce qu'elle est généralement admise.

La résistance de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse.

Elle est proportionnelle à la projection de la surface du mobile sur un plan normal à la direction du mouvement.

Elle est d'autant plus faible que le mobile est plus allongé dans le sens du mouvement[1].

Si deux surfaces se masquent exactement, la résistance éprouvée par la surface masquée est égale à une fraction de la résistance supportée par la surface antérieure. — Plus l'espace qui sépare les deux surfaces est faible, plus aussi la résistance exercée sur la surface masquée sera diminuée.

Soit Q la résistance cherchée;

A la projection de la surface antérieure du corps traversant l'air suivant une direction normale;

V la vitesse du mouvement;

ε un coefficient variable avec la longueur du corps;

θ un coefficient constant;

On admet généralement que la résistance de l'air sera exprimée par la formule suivante :

$$Q = \theta\varepsilon A V^2.$$

Il en résulte que l'équation qui exprime le travail résistant total, pour l'unité de distance parcourue par un convoi qui se meut en plaine et en ligne droite, est :

$$T = fP\frac{r}{R} + f'(P+p) + \theta\varepsilon A V^2.$$

[1] Cette diminution de la résistance avec la longueur des corps s'explique de la manière suivante :

Supposons une plaque mince se mouvant dans l'atmosphère. L'air, après avoir débordé cette plaque, se précipite immédiatement derrière avec une grande vitesse, et, entraînant dans son mouvement une poupe fluide, produit un vide relatif derrière. Mais, si le corps en mouvement est un prisme allongé, l'air, en suivant sa paroi latérale, perd d'abord une certaine portion de sa vitesse acquise, et par conséquent, après avoir dépassé la face postérieure de ce prisme, il ne se répand plus derrière lui qu'avec une force de plus en plus réduite : d'où résulte qu'il y produit un vide partiel ou une non-pression moins considérable que dans le cas d'une simple surface. Et, comme nous avons vu que la résistance définitive éprouvée par un corps en mouvement est la différence entre la pression de l'air en avant et le vide partiel créé en arrière, il s'ensuit que les corps allongés éprouveront définitivement dans l'air une résistance moindre que les corps dont l'épaisseur ne sera que très-faible.

Résistance sur une rampe en ligne droite.

Sur un plan incliné faisant avec l'horizon un angle α, la pesanteur qui sollicite le waggon, et qui est toujours verticale, se décompose en deux forces : l'une, perpendiculaire au plan, qui constitue la pression des roues sur ce plan; l'autre, parallèle aux rails, qui entraînerait le waggon vers le pied de la pente si elle n'était détruite par une force contraire. Si le waggon doit gravir la rampe, le moteur devra faire équilibre, non-seulement au frottement des waggons, mais encore à cette composante de la pesanteur parallèle au plan.

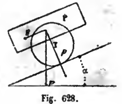


Fig. 628.

En se reportant à la figure 628, on voit aisément que cette force F est exprimée analytiquement par

$$(P+p)\sin\alpha.$$

On voit de même que la pression des coussinets sur les fusées, pression qui donne lieu au frottement de ces fusées[1], est égale à :

$$P\cos\alpha.$$

Et enfin que la pression exercée par les roues normalement aux rails a pour valeur :

$$(P+p)\cos\alpha.$$

Le travail que le moteur devra exercer sur le waggon pour que celui-ci conserve la vitesse qu'il possède à un instant donné sera donc, par unité de chemin parcouru :

$$fP\cos\alpha\frac{r}{R}+f'(P+p)\cos\alpha+0{,}2AV^2+(P+p)\sin\alpha.$$

En général, les inclinaisons que l'on rencontre sur les chemins de fer sont telles que l'on peut considérer $\cos\alpha=1$[2] et $\sin\alpha=\mathrm{tg}\,\alpha$;

[1] Le moteur, en agissant dans la direction du mouvement sur la fusée, produit une nouvelle pression déterminant un nouveau frottement; mais cette pression est tellement faible, que généralement on n'en tient pas compte.

[2] Bien que $\sin\alpha$ soit une quantité très-petite aussi bien que celle dont $\cos\alpha$ diffère

nous avons donc pour expression pratique du travail à exercer par le moteur :

$$fP\frac{r}{R}+f'(P+p)+\theta\varepsilon AV^2+(P+p)\,\mathrm{tg}\,\alpha.$$

Si la pente, au lieu d'être descendante, était ascendante, la formule qui exprime le travail de l'effort de traction serait la suivante :

$$fP\frac{r}{R}+f'(P+p)+\theta\varepsilon AV^2-(P+p)\,tg\,\alpha.$$

Résistance dans les courbes.

Les résistances qu'éprouve un waggon ou un convoi en parcourant une courbe sont de plusieurs espèces et sont dues à différentes causes.

En premier lieu, les roues sont généralement de diamètre égal et fixées sur les essieux. Or, soit :

a la demi-largeur de la voie (fig. 629);

ρ le rayon moyen de la courbe ;

Les distances parcourues par les deux roues d'un même essieu dans le même temps seront entre elles comme les rayons des deux files de rails, soit

$$:: \rho - a : \rho + a.$$

Il résulte de cette différence dans les chemins parcourus par les deux roues qu'elles devront glisser; celle qui se trouve sur le rail intérieur le fera de manière à retarder son mouvement, celle du rail extérieur de manière à l'accélérer.

Le centre de figure du waggon parcourant un espace égal à 1, les

de l'unité, on ne saurait, comme pourraient le supposer des personnes peu habituées au calcul, la négliger comme cette dernière, car l'erreur commise serait alors beaucoup plus grande. En effet, soit $\cos\alpha = 1-\beta$ et $\sin\alpha = \delta$. Si on suppose $\cos\alpha = 1$, l'erreur commise est de

$$\left\{ f\frac{r}{R}P + f'(P+p) \right\}\beta;$$

ou, comme l'ensemble de ces frottements est généralement représenté par le rapport $0{,}003\,(P+p)$, l'erreur est de $0{,}003\,\beta\,(P+p)$, c'est-à-dire des trois millièmes d'une quantité déjà très-petite multipliant le poids du waggon. Sin α étant considéré comme égal à o, l'erreur commise serait de $(P+p)\,\delta$, soit d'une fraction du poids total égale à la petite quantité δ tout entière.

roues intérieures avanceront de $\frac{\rho - a}{\rho}$, les roues extérieures de $\frac{\rho + a}{\rho}$, le glissement de chacune d'elles sera donc de $= \frac{a}{\rho}$.

Or les roues exercent sur les rails une pression $= P + p$; si donc nous représentons le coefficient de frottement par f'', nous

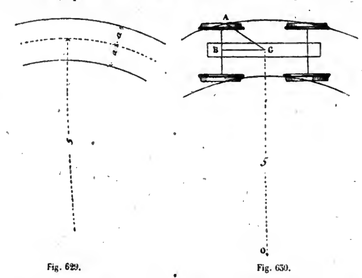


Fig. 629. Fig. 630.

aurons pour expression du travail résistant résultant de la fixité des roues sur les essieux, pour l'unité de parcours :

$$f''(P+p)\frac{a}{\rho}.$$

Les essieux d'un même waggon sont maintenus parallèles par les plaques de garde.

Les roues, au lieu d'être tangentes aux rails, prennent une direction qui est celle de la corde (fig. 630); par suite, les roues de devant tendent à se porter en dehors, celles de derrière à se porter en dedans des rails. Elles ne pourront donc rester sur ceux-ci que par un mouvement de glissement dans le sens du rayon de la courbe. De là un nouveau frottement.

Le glissement tangentiel que nous avons déterminé précédemment et le glissement suivant le rayon se combinent de telle sorte

que, tandis que le waggon décrit un cercle entier autour du centre O de la courbe, chacun des points de ce waggon décrit également une circonférence entière autour du centre de figure G du rectangle formé par les points de contact des roues et des rails[1]. Le rayon correspondant à ces points de contact est $GA = \sqrt{a^2 + b^2}$, b étant la demi-distance BG des deux essieux.

Nous aurons donc pour le travail dû au glissement des roues pendant que le waggon fait une révolution entière autour de O :

$$f''(P+p)\,2\pi\sqrt{a^2+b^2}.$$

Dans ce même temps, l'espace parcouru par le waggon est $= 2\pi\rho$, donc le *travail résistant qui résulte de la fixité des roues sur les essieux et du parallélisme de ces essieux est, pour l'unité de parcours du waggon, exprimé par la formule :*

$$f''(P+p)\frac{2\pi\sqrt{a^2+b^2}}{2\pi\rho} = f''(P+p)\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\rho}.$$

Le mouvement d'un waggon sur une courbe donne lieu à un troisième frottement dont la cause est indépendante du mode de construction des roues et essieux.

En effet, ce mouvement curviligne ne peut avoir lieu si un waggon n'est sollicité à chaque instant par une ou plusieurs forces qui le contraignent à s'écarter de la direction rectiligne que l'inertie tend à lui faire conserver. Ces forces sont les pressions que le rail extérieur de la voie exerce sur les bourrelets des roues extérieures; elles sont dirigées dans le sens du rayon de la courbe; leur expression est :

$$\frac{P+p}{g}\,\frac{V^2}{\rho},$$

dans laquelle g représente l'accélération due à la pesanteur, accélération égale à $9^m,81$ pour nos latitudes[2].

[1] Cela n'est pas mathématiquement exact. Le waggon ne tourne pas toujours autour de son centre de figure; mais nous pensons que cette supposition peut, en pratique, être admise sans inconvénient.

[2] Habituellement on explique les phénomènes que nous venons d'énoncer en disant

Ces pressions donnent lieu à un frottement $f''' \frac{P+p}{g} \frac{V^2}{\rho}$, f''' étant le coefficient de frottement des bourrelets des roues contre les rails.

Soit $R = IK$ le rayon de la roue (fig. 631), $h = KM$ la hauteur

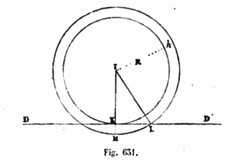


Fig. 631.

du rebord, $R+h$ sera la hauteur de la roue et de son rebord, et celui-ci frottera contre le rail DD′ au point L, où il le touche.

Pendant un instant infiniment petit, on peut considérer le point I et le point L comme tournant autour du point K, par lequel la roue repose sur le rail. Le chemin parcouru par le point L frottant contre le rail sera donc au chemin parcouru par le point I, ou par le waggon lui-même, dans le rapport de KL : IK, ou de $\sqrt{(R+h)^2 - R^2} : R$, ou enfin de $\sqrt{2Rh + h^2} : R$.

Tandis que le waggon parcourra un espace $= 1$, le point L parcourra un espace $\frac{\sqrt{2R+h^2}}{R}$, et *le travail du frottement dû à la force centrifuge sera, pour l'unité de parcours du waggon* ·

$$f''' \frac{P+p}{g} \frac{V^2}{\rho} \frac{\sqrt{2Rh+h^2}}{R}.\ [1]$$

que le mouvement curviligne fait naître une *force centrifuge* qui applique les rebords des roues extérieures contre le rail extérieur de la voie.

Cette manière d'envisager la question n'est pas très-rationnelle; cependant nous nous servons, dans le courant de cet ouvrage, de l'expression *force centrifuge* parce qu'elle est adoptée par la plupart des auteurs.

[1] Nous avons cherché dans ces calculs à indiquer l'effet sensible et le résultat général, sans entrer dans des détails qui ouvrent un champ indéfini de doutes et de controverse sans grand profit pour la pratique. Les lecteurs qui voudront approfondir davantage la question pourront consulter des articles fort intéressants publiés dans les *Annales des ponts et chaussées* par MM. Dupuis et Reinhard, et un mémoire lu à l'Institut par M. Wissocq

Le travail résistant additionnel résultant du passage d'un convoi dans une courbe est donc, par unité de parcours du convoi :

$$f''(P+p)\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\rho}+f'''\frac{P+p}{g}\frac{V^2}{\rho}\frac{\sqrt{2Rh+h^2}}{R}.$$

ÉQUATION GÉNÉRALE DU TRAVAIL.

Le travail total que le moteur devra exercer sur le convoi pendant l'unité de parcours, pour que ce convoi conserve la vitesse qu'il possédait avant l'instant considéré, est égal à la somme des travaux partiels que nous venons de déterminer; il est donc exprimé par la formule :

$$T=fP\frac{r}{R}+f'(P+p)+\theta\varepsilon AV^2+(P+p)\operatorname{tg}\alpha+$$
$$+f''(P+p)\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\rho}+f'''\frac{P+p}{g}\frac{V^2}{\rho}\frac{\sqrt{2Rh+h^2}}{R}.$$

L'effort de traction s'exerce toujours suivant la direction du déplacement du moteur; on obtiendra donc sa valeur en divisant le travail moteur exercé pendant un certain temps par le chemin parcouru dans ce même temps. Comme nous avons déterminé constamment le travail moteur correspondant à un parcours égal à 1, il est évident *que la valeur en kilogrammes de l'effort de traction sera la même que la valeur en kilogrammètres obtenue au moyen de la formule que nous venons de donner.*

DÉTERMINATION DES COEFFICIENTS.

Expériences diverses.

Moyens d'expérimentation. — Il reste maintenant à établir la valeur des différents coefficients qui entrent dans cette formule. Coulomb a déterminé depuis longtemps les coefficients de glissement f et f' entre des surfaces métalliques graissées ou non graissées; mais, comme il n'a pas opéré exactement dans les conditions où se trouvent les véhicules roulant sur un chemin de fer, on a jugé convenable de les déterminer de nouveau par des expériences faites sur des waggons isolés ou sur des convois.

On a employé pour cela différents procédés.

Quelquefois on a intercalé un dynamomètre à ressorts ou le dynamomètre de M. Morin entre le moteur et les véhicules.

D'autres fois on a abandonné à lui-même un waggon ou un convoi sur un plan incliné, et on a mesuré l'espace qu'il avait parcouru au bout d'un certain temps en descendant par l'effet seul de la gravité; puis on a introduit la valeur de l'espace et du temps dans une formule qui établit une relation entre l'espace, le temps et la force motrice[1]. Cette dernière force étant égale à la composante du poids du waggon ou du convoi diminuée de la résistance totale, on n'a plus dans la formule qu'une seule inconnue, la résistance totale. On la détermine en résolvant l'équation par rapport à cette résistance.

Un troisième moyen, pour déterminer la résistance d'un waggon, consiste à le faire marcher librement sur deux plans, inclinés en sens inverse, qui se raccordent par une courbe. Le waggon remonte le second plan incliné en vertu de la vitesse qu'il a acquise en descendant le premier; mais il s'élève sur le second plan à une hauteur moindre que celle dont il était descendu. La différence des deux hauteurs introduite dans une formule conduit à déterminer l'inconnue[2].

Enfin, on a laissé descendre un train de waggons sur un plan incliné. Le train était mis et entretenu en mouvement par la composante de son poids parallèle au plan; mais la résistance totale, comprenant les frottements, qui sont sensiblement indépendants de la vitesse et de la résistance de l'air, qui varie comme le carré de la vitesse, allait croissant avec la vitesse, jusqu'à ce que, devenue égale à la force motrice, elle lui fît équilibre. La vitesse cessait alors de croître, et le mouvement devenait uniforme. Notant la vitesse au moment où le mouvement était devenu uniforme, on avait pour

[1] Voir la formule dans le *Traité* de Wood, traduit de l'anglais par MM. de Montricher, de Ruolz, de Franqueville, et dans la seconde édition du *Traité* de Pambour sur les locomotives.

[2] Cette formule est très-simple; il en résulte que le rapport de la résistance à la charge a pour mesure la différence de niveau des points de départ et d'arrivée, divisée par la somme des espaces parcourus sur les deux plans : le calcul qui y conduit est développé dans le *Traité* de Wood, p. 129. (Note de M. Montricher.)

la valeur de la résistance à cette vitesse celle de la composante du poids du convoi.

Pour obtenir la résistance à une autre vitesse, on opérait sur un nouveau plan présentant une inclinaison différant de celle du premier, et de cette manière on pouvait déterminer la résistance pour autant de vitesses différentes que de plans diversement inclinés. Cette méthode est fort simple théoriquement, mais il est rare qu'on puisse en faire l'application, à cause de la difficulté qu'on éprouve à rencontrer sur un même point des plans d'une grande longueur, diversement inclinés.

Enfin, pour déterminer isolément le frottement sur les fusées, on a fait reposer les deux fusées d'un même essieu dans des coussinets établis sur deux chevalets. Sur l'essieu, on a monté une poulie et enroulé sur cette poulie une corde portant à une extrémité libre un poids exactement connu. L'expérience avait deux périodes. Dès que le poids cessait d'être retenu, il se mettait en mouvement et faisait tourner l'essieu avec une vitesse qui allait en croissant jusqu'à l'instant où la corde était entièrement déroulée. A ce moment, la corde se détachait spontanément de la poulie, et l'essieu continuait à tourner jusqu'à ce que le frottement de ses fusées eût complétement détruit sa puissance vive. Un compteur adapté à l'appareil donnait exactement le nombre de tours faits par l'essieu.

Expériences de M. Wood. — M. Wood, l'un des premiers qui aient essayé de déterminer la résistance des waggons, a employé d'abord le dynamomètre à ressorts; mais, ayant bientôt reconnu l'imperfection de cet instrument, il a cherché la résistance en mesurant l'espace parcouru par le waggon descendant sur un plan incliné. Il a trouvé de cette manière, pour la résistance totale de waggons se mouvant en ligne droite et en plaine, à des vitesses de 16 kilomètres par heure, de 4 à 5 millièmes du poids. Cette résistance, en réalité, n'est pas une fraction exacte de ce poids, car le frottement de glissement sur l'essieu n'est proportionnel qu'au poids P du waggon et de sa charge, moins les roues et les essieux, et la résistance de l'air est indépendante de ce poids; mais, aux vitesses auxquelles M. Wood a opéré, la résistance de l'air est peu sensible, et on ne commet qu'une erreur négligeable dans la pratique

en admettant que la résistance totale est une fraction du poids total.

Pour déterminer isolément la résistance au pourtour des roues, M. Wood a supprimé la caisse et lancé sur des plans inclinés des essieux isolés qu'il chargeait plus ou moins, au moyen de rondelles de plomb emmanchées sur ces essieux. Il supprimait ainsi le frottement sur les fusées; il rendait insensible la résistance de l'air, et obtenait comme expression de la résistance totale celle de la résistance au pourtour des roues.

Il a trouvé ainsi que *la résistance au pourtour de roues de* 0^m,90 *de diamètre était à peu près* 0,001 *du poids total.*

En employant la méthode décrite ci-dessus pour déterminer directement la résistance sur les fusées, il a trouvé *que le coefficient du frottement sur les fusées était, dans un état moyen des fusées, de* 0,05, *et, dans des circonstances exceptionnelles, avec un graissage continu parfait, de* 0,017.

En sorte que, le rapport du diamètre d des fusées à celui D des roues étant le même que dans les anciens waggons, soit environ 50/1000, on aura pour la résistance sur la fusée :

$$f.\,P\,\frac{d}{D} = \text{environ } 0{,}0025\ P.$$

Avec le rapport du diamètre des fusées actuelles au diamètre des roues, rapport $= \frac{75}{1000}$, on trouve pour cette résistance

$$f.\,P.\,\frac{d}{D} = 0{,}00375\ P.$$

M. Wood a reconnu aussi que, pour que le frottement restât invariable avec la surface du coussinet, il fallait que la surface du coussinet fût telle, que la pression par centimètre carré ne dépassât pas 7 kilogrammes. Cette pression étant plus grande, la graisse était écrasée et les surfaces frottantes changeaient de nature.

En partant des expériences précitées faites par M. Wood pour déterminer séparément le frottement sur la fusée et le frottement au pourtour des roues, on trouve pour la résistance totale due au frottement dans les anciens waggons :

$$0{,}0025\,P + 0{,}001\,(P+p) \text{ ou environ } 0{,}0035\,(P+p).$$

Et pour la même résistance dans les nouveaux waggons :

$$0{,}00375\ P + 0{,}001\ (P + p).$$

Soit environ :

$$0{,}00475\ (P + p).$$

M. Wood a enfin trouvé, par des expériences directes, que la résistance totale dans les anciens waggons, à de petites vitesses, auxquelles la résistance de l'air était peu sensible, était de trois à quatre millièmes du poids total.

Expériences sur les frottements, par M. de Pambour. — M. de Pambour a trouvé, pour la somme des frottements dans des waggons à peu près semblables avec des roues de $0^{m},915$ et des fusées de $0^{m},045$ de diamètre, et déduction faite de la résistance de l'air, le rapport $\frac{1}{373}$ du poids brut, soit

$$0{,}0026\ (P + p),$$

valeur sensiblement inférieure à celle indiquée par M. Wood, ce qui tient à un mode de construction supérieur du waggon et à un meilleur graissage. Ses expériences ont été faites en 1834, sur le chemin de Liverpool à Manchester.

Expériences sur la résistance de l'air, par M. de Pambour. — Nous emprunterons encore à la seconde édition du *Traité des machines locomotives*, par M. de Pambour, la valeur du coefficient θ, celle de ε, et l'indication de la marche à suivre pour calculer la surface A.

La résistance étant exprimée en kilogrammes, la surface A en mètres carrés et la vitesse en kilomètres par heure, le coefficient θ est égal à. 0,004825

La valeur de ε pour un corps isolé, très-mince, est.	1,43
Pour un cube.	1,17
Pour un prisme, dont la longueur est égale à trois fois le côté de la surface antérieure.	1,10
Pour un convoi de 5 waggons.	1,07
— de 25 waggons.	1,04
— de 15 waggons.	1,05

Quant à la surface A, elle se compose de plusieurs éléments qui influent à des degrés différents sur l'intensité de la résistance, dont nous nous occupons. On peut déterminer directement la surface antérieure du waggon, qui se compose de celle du chargement et de celle du waggon lui-même. Mais les rais des roues tournent rapidement, et éprouvent par cela même une certaine résistance; de plus, les roues, essieux, boîtes à graisse et ressorts d'arrière sont suffisamment séparés des pièces qui les précèdent pour qu'on ne puisse les considérer comme complétement protégés contre le choc de l'air.

La vitesse de rotation des divers éléments superficiels des roues varie avec la distance de ces éléments à l'essieu; vers la jante, cette vitesse est presque égale à celle du waggon; près de l'essieu elle est très-faible.

En ramenant leur surface totale à celle qui, mue à la circonférence de la roue, éprouverait de la part de l'air une résistance équivalente, M. de Pambour a trouvé que chaque roue de $1^{m},00$ de diamètre présente à cet égard une surface de $0^{m.2},1162$, soit $0^{m.2},12$. En y ajoutant donc la surface directe offerte par le bandage de la roue, par les boîtes, essieux et ressorts, le même auteur est arrivé à ce résultat, que chaque paire de roues montée équivaut à une surface de $0^{m.2},65$.

Mais, dans un train, toutes ces pièces sont masquées par celles qui les précèdent et sont espacées par un intervalle sensiblement égal au côté de leur carré; il convient donc de réduire aux deux tiers, soit $0^{m},43$, la surface directe opposée au choc de l'air par chaque paire de roues, non compris la première.

Pour un waggon isolé, il faudra adopter pour surface directe choquée par l'air la surface antérieure de sa caisse, de son châssis et de son chargement, à laquelle il faudra ajouter $0^{m.2},65 + 0^{m.2},43 = 1^{m.2},08$ pour ses roues, essieux, boîtes et ressorts.

Le coefficient ε variera avec la longueur du waggon employé. On peut admettre que cette longueur est égale à deux fois la racine carrée de la surface antérieure; on devra donc, dans les formules précédentes, faire $\varepsilon = 1,15$.

Quand les waggons sont réunis en trains, on devra compter une

surface additionnelle de $0^{m.2},43$ par paire de roues ajoutée. Mais, quoique très-rapprochés, les waggons ne sont cependant pas en contact, et chacun d'eux éprouve, sur sa surface antérieure, une résistance que M. de Pambour a trouvée égale à celle que produirait une augmentation de $0^{m.2},0929$, soit $0^{m.2},10$, de la surface antérieure du premier waggon.

M. de Pambour donne enfin la formule suivante, pour un train de quinze waggons, dans laquelle la vitesse est exprimée en kilomètres par heure, et la surface du train, comme nous venons de l'indiquer, en mètres carrés :

$$Q = 0,0050\ 64AV^2.$$

Expériences sur la résistance totale, de MM. Gouin et Lechatelier. — *Pour la résistance totale, MM. Gouin et Lechatelier, en se servant du dynamomètre Morin, ont trouvé avec des waggons se rapprochant beaucoup des waggons actuels, mais dans lesquels cependant les fusées étaient de plus petit diamètre :*

A de petites vitesses (de 25 à 40 kilomètres par heure), de 3 à $4\frac{1}{2}$ millièmes du poids total.

A des vitesses modérées (40 à 60 kilomètres par heure), de $4\frac{1}{2}$ à $8\frac{1}{2}$ millièmes.

On peut supposer qu'à de grandes vitesses (80 à 90 kilomètres par heure) elle atteindrait 12 à 15 millièmes.

Les expériences de MM. Gouin et Lechatelier ont eu lieu sur le chemin de Versailles (rive droite). Faites au moyen de l'indicateur de Watt, elles avaient pour but principal la détermination de toutes les circonstances de l'emploi de la vapeur dans les machines locomotives[1]; elles leur ont fourni le moyen de déterminer d'une manière fort exacte la résistance des convois, machine comprise.

Les diagrammes tracés par l'instrument donnaient rigoureusement la valeur du travail exercé par la vapeur sur les pistons; il était donc facile d'en déduire l'effort de traction moyen.

A la suite de ces expériences, les mêmes ingénieurs ont déter-

[1] Nous en donnons plus loin un résumé en rendant compte de l'effet des machines locomotives.

miné sur la même ligne et avec le dynamomètre la résistance des trains remorqués, machine non comprise.

Résumé fait par les auteurs du Guide du mécanicien constructeur. — MM. Lechatelier, Flachat, Petiet et Polonceau ont résumé ces expériences dans le tableau suivant, que nous extrayons de leur *Guide du mécanicien constructeur et conducteur de locomotives*, ainsi que les conclusions qui le suivent.

OBJET des EXPÉRIENCES	NOMBRE des expériences.	VITESSES moyennes en kilomètres à l'heure.	NOMBRE moyen de wagons remorqués.	POIDS du convoi en tonnes	RÉSISTANCE par tonne en kilogrammes la gravité déduite.	MODE de DÉTERMINATION.
Machine et tender (seuls).	2	kil 28,4	.	tonn. 26,0	kil. 11,63	Indicateur.
Convoi brut (machine et tender compris).	37	42,7	6,86	60,3	10,31	Indicateur.
Train remorqué (machine et tender non compris).	3	38,38	8,0	41,0	4,06	Dynamomètre intercalé entre le tender et la première voiture; temps calme.
	5	49,17	8,0	41,0	6,56	
	3	56,37	5,3	22,0	8,13	
Moyenne. . .	11	48,0	7,3	37,7	6,31	

« Il est à regretter que ces expériences n'aient pu être combinées de manière à donner simultanément les diagrammes de l'indicateur et du dynamomètre, ce qui aurait permis de constater quelle était la fraction totale du travail moteur absorbé par le frottement de la machine comme véhicule, par le frottement de son mécanisme, par le frottement additionnel résultant du travail de la vapeur, et enfin par la résistance de l'air qu'elle divise en avant du train. On peut

admettre pour la résistance brute, à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure, d'un convoi brut de 60 tonnes. . . . . . 10^k,50

« Pour celle du train remorqué (34 tonnes). . . . 6 ,25

« Il reste donc, pour la résistance totale due à la machine et au tender $10^k,5 \times 60 - 34 \times 6^k,25 = 417^k,5$, ou par tonne du poids de l'appareil moteur. . . . . 16^k,00

« Si l'on suppose que les frottements et la résistance de la machine, considérée comme véhicule sans son mécanisme, soient égaux à ceux des waggons, la résistance totale produite par le jeu des organes de la machine est égale, pour chaque tonne *du convoi brut*, à. . . . . 4^k,25

« *Pour chaque tonne de l'appareil moteur* (machine et tender), à. . . . . 9^k,75

« Si l'on applique à la détermination de ces résultats les données obtenues sur le chemin d'Orléans pour les machines marchant à vide [1], qui établissent que le frottement d'une machine et de son tender isolés, à la vitesse de 30 kilomètres à l'heure, est de 8 kilogrammes par tonne, on peut en conclure approximativement que cette même résistance, à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure, sera égale à 12 kilogrammes, de telle sorte que, sur la résistance de 16 kilogrammes *par tonne du poids de l'appareil moteur*, il resterait pour la part additionnelle due à l'action de la vapeur. 4^k,00

« On peut donc, en groupant ces divers résultats, décomposer comme suit la résistance totale que le convoi de 60 tonnes que nous avons pris pour exemple éprouve dans son mouvement, à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure. »

1° *Résistance du convoi brut, par tonne.*

Résistance due au mouvement des véhicules.	6^k,25
— due aux frottements du mécanisme de la machine sans charge.	2 ,50
— due aux frottements du mécanisme produits par la pression de la vapeur.	1 ,75
Total. . . .	10^k,50

[1] Expériences faites sur la machine *Mulhouse*, en 1844, par une commission nom-

2° *Résistance de l'appareil moteur, par tonne.*

Résistance due au mouvement du véhicule.	6^k,25
— due au frottement du mécanisme sans charge.	5 ,75
— due à la pression de la vapeur.	4 ,00
Total. . . .	16^k,00

Expériences de M. Gooch. — Des expériences entreprises dans le but de déterminer les résistances des trains ont été faites par M. Gooch, sur le chemin à large voie du Great-Western. Ces expériences, annexées à la déposition de M. Gooch devant la commission du parlement anglais chargée de l'enquête sur les avantages respectifs de la voie large et de la voie étroite (1848), sont résumées de la manière suivante dans le *Guide du mécanicien :*

« Elles ont été faites au moyen de l'indicateur Watt, placé sur le cylindre de la machine *Great-Britain*, et d'un dynamomètre à ressorts construit avec beaucoup de soin et placé à l'arrière du tender sur un waggon disposé à cet effet. Les expériences ont été faites sur une partie du chemin parfaitement droite et horizontale, et située au niveau du sol. Le train remorqué se composait de voitures à six roues de première et de deuxième classe, lestées et pesant chacune en totalité 10 tonnes; le waggon du dynamomètre pesait également 10 tonnes et présentait la même section que les autres. Nous rapporterons le résultat de plusieurs séries d'expériences, desquelles M. Gooch a cru pouvoir conclure que les résistances ainsi observées, sur le Great-Western, sont d'environ 20 pour 100 inférieures à celles que l'expérience permet d'admettre pour les chemins de fer à voie étroite. Nous avons calculé, en assimilant la machine et le tender à des véhicules ordinaires, et en déduisant la part de résistance comme véhicule établie dans cette hypothèse, la résistance due aux frottements du mécanisme et à la pression de la vapeur sur les pistons; nous l'avons comparée : 1° au poids de la machine et du tender; 2° au poids du convoi brut; 3° à la résistance totale

mée par M. le ministre des travaux publics; sur la rampe de 0^m,008 par mètre du chemin de Paris à Orléans, à Étampes, les machines à voyageurs recevaient librement sans l'action de la vapeur, par un temps calme, en prenant une vitesse de 30 kilomètres à l'heure.

mesurée par l'indicateur. Les différents résultats, observés et calculés, sont compris dans le tableau suivant :

VITESSES MOYENNES EN KILOMÈTRES à l'heure.	RÉSISTANCE PAR TONNE			RÉSISTANCE ADDITIONNELLE DUE AU MÉCANISME et à la pression de la vapeur		
	du convoi brut (machine et tender compris) par l'indicateur.	du train remorqué par le dynamomètre.	de la machine et du tender.	par tonne du convoi brut	par tonne du poids de la machine et du tender.	Rapport de la résistance additionnelle à la résistance totale.
Train remorqué, 100 tonnes. — Convoi brut 150 tonnes.						
kil.	kil.	kil	kil.	kil.	kil.	kil.
21,1	4,10	3,43	8,51	0,67	2,00	0,16
32,1	5,11	3,87	7,49	1,24	3,72	0,24
72,4	10,46	7.26	13,96	3,20	9,60	0,30
91,7	12,42	9,94	19,17	2,48	7,44	0,20
92,2	»	10,77	»	»	»	»
98,1	»	10,07	»	»	»	»
Train remorqué, 80 tonnes.						
84,6	»	9,42	»	»	»	»
Train remorqué, 50 tonnes. — Convoi brut, 100 tonnes.						
35,5	6,86	4,31	8,75	2,54	5,08	0,37
69,8	9,07	6,65	11.37	2.42	4,84	0,27
39,3	13,84	10,21	17,58	3,63	7,26	0.26
Rapport moyen de la résistance additionnelle à la résistance totale.						0,25

Expériences faites par M. Polonceau. — Après avoir indiqué sommairement les résultats d'expériences faites déjà anciennement par MM. Vood, de Pambour, Gooch, Gouin et Lechatelier, dans le but de déterminer la résistance à la traction sur les chemins de fer, nous donnerons une série d'expériences plus récentes faites dans le même but par MM. Polonceau, Poirée, Garella, Bochet et Kinnear Clark.

Nous extrayons des notes précieuses laissées par M. Polonceau, enlevé tout récemment à la science par une mort prématurée, tout ce qui concerne le travail de cet éminent ingénieur. M. de Bonne-

foy, ancien élève de l'École centrale, ingénieur du chemin d'Orléans, nous a prêté un utile concours en complétant les notes que M. Polonceau nous avait laissées sur ses expériences. Nous saisissons cette occasion de l'en remercier.

Dès l'année 1855, M. Polonceau fut frappé de l'importance qu'il y aurait à déterminer d'une manière fixe, au point de vue de la traction, l'influence des rampes ainsi que celle des courbes à petit rayon, dans un moment surtout où la tendance des ingénieurs chargés de l'exécution d'embranchements nouveaux se traduisait par une augmentation considérable des difficultés qu'apportent ces deux causes à la marche des trains sur les chemins de fer.

Il entreprit alors une série d'expériences qui, continuées pendant les années 1857, 1858 et 1859, ne furent interrompues que par la mort de l'ingénieur qui les dirigeait.

Déjà, cependant, il avait pu réunir des documents assez complets pour en tirer un grand nombre de données utiles.

La résistance par tonne en palier et en alignement, et l'augmentation de cette résistance dans les rampes de profils variés et dans les courbes de différents rayons, avaient été l'objet des premières études; il y avait ajouté des comparaisons intéressantes entre les résistances dues aux matériels de différente construction, entre celles que présente le graissage à la graisse et le graissage à l'huile; il avait examiné avec le même soin l'influence, sous ce rapport, de la dimension des roues, de l'état de la voie sèche ou de la voie humide, enfin de la traction du matériel vide ou chargé.

Les expériences ont été faites dans des conditions qu'il importe de faire sommairement connaître.

Mode d'expérimentation. — L'appareil employé pour obtenir le travail est un dynamomètre Morin, placé dans un waggon attelé d'une part au tender et de l'autre au premier waggon du train.

Les espaces parcourus sont pointés de kilomètre en kilomètre et les temps de 30 en 30 secondes.

De la somme des surfaces évaluées de 100 en 100 mètres, on déduit l'effort moyen entre chaque poteau kilométrique, en supposant au train une vitesse uniforme entre deux poteaux consécutifs.

Chaque élément de travail est le produit de cet effort moyen par

le chemin parcouru pendant la durée de cet effort, et la somme de tous ces éléments constitue le travail développé pendant le trajet.

Pour les comparaisons de matériel, afin d'opérer dans les mêmes conditions atmosphériques et à la même vitesse, on attelle au même train les deux parties que l'on veut comparer, en plaçant en tête de chacune d'elles un waggon portant un appareil dynamométrique. Du travail total accusé par l'appareil de tête on retranche le travail accusé par l'appareil du milieu, et on a les résultats de comparaison des deux éléments considérés.

Dans le calcul des courbes on ne tient pas compte :

1° Du travail résultant des efforts accusés au démarrage pendant le premier kilomètre;

2° Du travail résultant de fractions de courbes obtenues dans les parcours de quelques kilomètres, le régulateur étant fermé, le train ne marchant plus qu'en vertu de la vitesse acquise.

La vitesse, pendant chacune des expériences, a été maintenue sensiblement constante; les variations inévitables étant comprises entre des limites très-restreintes, l'on a pu corriger l'expression du travail ou des efforts obtenus au moyen de cette formule : la charge remorquée et le chemin parcouru restant les mêmes, le travail est inversement proportionnel au temps employé pour parcourir ce chemin.

Ces bases étant posées, différents voyages ont été entrepris sur des lignes de profil varié.

Influence de la pente et de la courbure sur la résistance. — Des trains composés de trente-cinq waggons à marchandises présentant un tonnage brut de 316,939 kilogrammes, conduits à une vitesse réglementaire de 25 kilomètres à l'heure, d'autres formés aussi de trente-cinq waggons à marchandises pesant ensemble 317 tonnes, mais n'ayant qu'une vitesse de 15 kilomètres à l'heure, enfin des trains mixtes marchant à une vitesse de 35 kilomètres à l'heure et composés de quinze voitures présentant un tonnage de 165,830 kilogrammes, ont fourni les éléments des conclusions suivantes, qui sont l'expression d'environ deux mille essais, puisqu'à chaque kilomètre parcouru correspond une courbe calculée.

EXPÉRIENCES DE TRACTION

TABLEAU GÉNÉRAL DONNANT EN KILOGRAMMES L'EFFORT MOYEN DE TRACTION PAR TONNE BRUTE REMORQUÉE, POUR UN PROFIL DE VOIE A RAMPES ET A COURBES VARIABLES, A UNE VITESSE UNIFORME DE 25 KILOMÈTRES A L'HEURE.

Graissage à la graisse.

INCLINAISONS.	EFFORTS EN ALIGNEMENT.	EFFORTS EN COURBES DE RAYON DE 1,500 MÈTRES.	1,400 MÈTRES.	1,300 MÈTRES.	1,200 MÈTRES.	1,100 MÈTRES.	1,000 MÈTRES.	900 MÈTRES.	800 MÈTRES.	700 MÈTRES.	600 MÈTRES.	500 MÈTRES.	400 MÈTRES.	300 MÈTRES.	ACCROISSEMENT D'EFFORT PAR MILLIMÈTRE DE RAYON.	ACCROISSEMENT D'EFFORT POUR UNE RAMPE DONNÉE, L'EFFORT EN PALIER ET EN ALIGNEMENT PRIS POUR UNITÉ.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Palier. Alignement	3 20	3 20	3 25	3 35	3 50	3 70	3 95	4 25	4 60	5 00	5 45	5 95	6 50	7 10	0 90	0 00
Rampe de 1 millim. Alignement	4 10	4 10	4 15	4 25	4 40	4 60	4 85	5 15	5 50	5 90	6 35	6 85	7 40	8 00	0 90	0 90
— 2 — —	5 00	5 00	5 05	5 15	5 30	5 50	5 75	6 05	6 40	6 80	7 25	7 75	8 30	8 90	0 90	1 80
— 3 — —	5 90	5 90	5 95	6 05	6 20	6 40	6 65	6 95	7 30	7 70	8 15	8 65	9 20	9 80	0 90	2 70
— 4 — —	6 80	6 80	6 85	6 95	7 10	7 30	7 55	7 85	8 20	8 60	9 05	9 55	10 10	10 70	0 90	3 60
— 5 — —	7 70	7 70	7 75	7 85	8 00	8 20	8 45	8 75	9 10	9 50	9 95	10 45	11 00	11 60	0 90	4 50
— 6 — —	8 60	8 60	8 65	8 75	8 90	9 10	9 35	9 65	10 00	10 40	10 85	11 35	11 90	12 50	0 90	5 40
— 7 — —	9 50	9 50	9 55	9 65	9 80	10 00	10 25	10 55	10 90	11 30	11 75	12 25	12 80	13 40	0 90	6 30
— 8 — —	10 40	10 40	10 45	10 55	10 70	10 90	11 15	11 45	11 80	12 20	12 65	13 15	13 70	14 30	0 90	7 20
— 9 — —	11 30	11 30	11 35	11 45	11 60	11 80	12 05	12 35	12 70	13 10	13 55	14 05	14 60	15 20	0 90	8 10
— 10 — —	12 20	12 20	12 25	12 35	12 50	12 70	12 95	13 25	13 60	14 00	14 45	14 95	15 50	16 10	0 90	9 00
— 11 — —	13 10	13 10	13 15	13 25	13 40	13 60	13 85	14 15	14 50	14 90	15 35	15 85	16 40	17 00	0 90	9 90
— 12 — —	14 00	14 00	14 05	14 15	14 30	14 50	14 75	15 05	15 40	15 80	16 25	16 75	17 30	17 90	0 90	10 80
— 13 — —	14 90	14 90	14 95	15 05	15 20	15 40	15 65	15 95	16 30	16 70	17 15	17 65	18 20	18 80	0 90	11 70
— 14 — —	15 80	15 80	15 85	15 95	16 10	16 30	16 55	16 85	17 20	17 60	18 05	18 55	19 10	19 70	0 90	12 60
— 15 — —	16 70	16 70	16 75	16 85	17 00	17 20	17 45	17 75	18 10	18 50	18 95	19 45	20 00	20 60	0 90	13 50
— 16 — —	17 60	17 60	17 65	17 75	17 90	18 10	18 35	18 65	19 00	19 40	19 85	20 35	20 90	21 50	0 90	14 40
Accroissement d'effort par 100 mètres de diminution de rayon des courbes.	0 00	0 00	0 05	0 10	0 15	0 20	0 25	0 30	0 35	0 40	0 45	0 50	0 55	0 60	»	»
Accroissement d'effort par 100 mètres de diminution de rayon des courbes, l'effort pour un profil étant donné.	0 00	0 00	0 05	0 15	0 30	0 50	0 75	1 05	1 40	1 80	2 25	2 75	3 30	3 90	»	»

L'examen de ce tableau conduit à reconnaître que le matériel du chemin de fer d'Orléans, graissé à la graisse en été, exige par tonne brute remorquée à une vitesse de 25 kilomètres à l'heure :

1° Un effort en palier et en alignement de. . . . $3^k,20$

2° Par millimètre de rampe jusqu'à 16 millimètres, une augmentation d'effort de. . . . . $0^k,90$

3° En courbe et par 100 mètres de diminution dans le rayon compris entre 1,500 et 300 mètres une augmentation d'effort de. . . . . $0^k,05$

Au delà de 1,500 mètres de rayon, l'augmentation d'effort dû à la courbe devient sensiblement nulle.

M. Polonceau avait commencé des expériences dans le but de déterminer l'influence de la vitesse sur les résistances. Elles sont trop incomplètes pour que nous en publiions les résultats. Il est fort à regretter que toutes les expériences précédentes aient été faites à une vitesse unique de 25 kilomètres par heure.

Les expériences comparatives faites de 1857 à 1859 pour diminuer le rapport entre l'effort nécessaire à la traction d'un même poids dans des conditions variées, en ce qui concerne la construction du matériel, la nature du graissage, etc., l'ont été également à une vitesse constante de 20 à 25 kilomètres par heure ; elles se trouvent résumées dans les notes et conclusions qui vont suivre.

Comparaison de la résistance des waggons du Nord et d'Orléans. — M. Polonceau a comparé d'abord la résistance des waggons à dix tonnes du chemin de fer du Nord, montés sur essieux à fusées de 172/80, roues de $0^m,920$ de diamètre, avec les waggons à huit tonnes du chemin de fer d'Orléans, à fusées de 155 sur 80 millimètres, roues de un mètre (matériel graissé à la graisse).

Le train était composé de quinze waggons d'Orléans et quinze waggons du Nord ; la vitesse de la marche a été de 25 kilomètres à l'heure.

Le rapport entre le tirage moyen :

Par tonne brute remorquée pour les waggons d'Orléans = 3,59		étant de 1,091
— — — du Nord = 3,29		

Donc : 1 tonne brute remorquée waggons du Nord = 1,091, tonne brute remorquée waggons d'Orléans.

Or les waggons du Nord pèsent :

Tare moyenne = 4,207 kil.
Poids utile = 10,000
Total. . . $14,207^k$ ou $14^t,207$

Et les waggons d'Orléans pèsent :

Tare moyenne = 4,802 kil.
Poids utile = 8,000
Total. . . $12,802^k$ ou $12^t,802$.

L'effort total pour un waggon du Nord sera :

$$1 \times 14^t,207 = 14^k,207.$$

L'effort total pour un waggon d'Orléans sera :

$$1,091 \times 12^t,802 = 13,967^k.$$

D'où l'on peut conclure : que le rapport entre le tirage moyen

$$\frac{\text{Pour remorquer un waggon d'Orléans étant de } 13^k,967}{\text{— — du Nord étant de } 14^k,207} = 0,98,$$

35 waggons d'Orléans chargés à huit tonnes correspondent, comme traction, à $35 \times 0,98$ waggons du Nord chargés à dix tonnes ou à 34 waggons 30.

Influence du graissage. — M. Polonceau a cherché ensuite à apprécier l'influence du graissage à l'huile ou à la graisse sur la résistance.

Deux trains composés, le premier de trente-cinq waggons graissés à la graisse et le second de quarante-deux waggons graissés à l'huile, ont été lancés à la même vitesse de 25 kilomètres à l'heure dans des conditions atmosphériques analogues, et l'on a trouvé, pour l'effort moyen des trente-cinq waggons graissés à la graisse : 1,335 kilos, soit $4^k,20$ par tonne brute remorquée, et pour l'effort moyen des quarante-deux waggons graissés à l'huile ; 1,176 kilos, soit $3^k,01$ par tonne, et l'on peut conclure : que trente-cinq wag-

gons graissés à la graisse équivalent comme résistance à quarante-cinq waggons graissés à l'huile.

Étant donc donné l'effort moyen par tonne brute remorquée pour un matériel graissé à l'huile, il suffira d'ajouter $1^k,10$ à $1^k,20$ au chiffre qui l'exprime pour obtenir l'effort par tonne remorquée pour un matériel graissé à la graisse.

Ce résultat obtenu pendant l'été ne serait pas exact, appliqué à la traction pendant l'hiver, la différence alors pouvant aller jusqu'à deux kilos.

Enfin il est à remarquer que, dans les trains de marchandises conduits à une vitesse de 25 kilomètres à l'heure, la différence de l'effort de traction pour un matériel graissé à l'huile et un matériel graissé à la graisse, très-sensible au départ, devient presque nulle après un parcours de 18 à 20 kilomètres : ce résultat d'expérience pouvait être facilement prévu.

Influence du diamètre des roues. — Les dimensions des roues, aussi bien que celles des fusées, exercent une influence sensible sur la résistance. Les expériences suivantes le confirment. M. Polonceau, dans ces expériences, s'est rendu compte du tirage pour des waggons ayant des roues de un mètre seulement de diamètre et pour d'autres waggons ayant des roues de $1^m,200$.

Le train était composé de quinze waggons montés sur roues d'un mètre et de quinze waggons montés sur roues de $1^m,200$.

Tous ces waggons étaient graissés à la graisse et portés sur essieux à fusées de 155/80, la vitesse de la marche étant de 25 kilomètres à l'heure.

Le rapport entre le tirage moyen par tonne brute remorquée

$$\left.\begin{array}{ll}\text{Pour les waggons avec roues de } 1^m & = 5^k,23 \\ \quad\text{—} \qquad\qquad\qquad \text{de } 1^m,200 & = 4^k,52\end{array}\right\} \text{étant de } 1,16,$$

on peut conclure qu'à charge égale il faut : 1,16 waggons avec roues de $1^m,200$ pour un waggon avec roues de 1 mètre.

Soit, pour trente-cinq waggons avec roues de 1 mètre, quarante et un waggons avec roues de $1^m,200$.

Influence de la voie sèche ou humide. — L'état de la voie diminue ou augmente la résistance. En effet, des expériences ayant

été faites sur une voie sèche et sur une voie mouillée, à la vitesse de 25 kilomètres par heure avec des trains de trente-cinq à quarante waggons, M. Polonceau a trouvé que l'avantage de la voie mouillée sur la voie sèche est de 663 kilogrammètres, soit 9 chevaux.

Nombre de chevaux moyen employé pour le remorquage du train :

Sur la voie sèche. . .	87,5	rapport, 1,11.
Sur la voie mouillée. .	78,6	

Soit trente-cinq waggons sur la voie sèche pour trente-neuf sur la voie mouillée.

Influence de la charge. — La résistance au tirage est plus grande pour une tonne de waggons vides que pour une tonne de waggons pleins : cela tient à ce que, si la résistance due aux frottements est proportionnelle à la charge, celle de l'air et certaines résistances accidentelles restent les mêmes, que le waggon soit plein ou vide.

Deux trains ont été faits le même jour, l'un composé de trente-cinq waggons chargés, l'autre de soixante waggons vides. Tous ces véhicules étaient montés sur essieux à fusées de 150/72 et graissés à la graisse. La vitesse a varié de 22 à 23 kilomètres à l'heure.

Le rapport du travail ramené à 25 kilomètres égale :

Pour les soixante waggons vides. . .	10,861[k]	= 1,005.
Pour les trente-cinq waggons chargés.	10,798[k]	

Donc, trente-cinq waggons chargés correspondent à soixante waggons vides.

D'où il résulte que :

Si 3,92 est l'effort de traction par tonne brute remorquée du matériel chargé, et 5,45 l'effort par tonne de matériel vide,

Si un waggon vide pèse : tare ou poids mort, 5,000 kilos,

Le même waggon chargé pèsera :

Tare ou poids mort.	5,000[k]	13,000[k].
Marchandises ou poids utile. . . .	8,000[k]	

L'effort sera pour le waggon vide :

$$5 \times 5,45 = 27^{k},25;$$

Et, pour le waggon chargé, l'effort sera :

$$13 \times 3{,}92 = 50^{k}{,}96.$$

Et $50{,}96 - 27{,}25 = 23{,}71$ sera l'effort total pour remorquer les huit tonnes (poids utile).

$$\text{Par tonne utile, } \frac{23{,}71}{8} = 2{,}96.$$

$$\text{Donc 1 tonne utile : } x \text{ tonne tare : : } 2{,}96 : 5{,}45, \text{ d'où } x = \frac{5{,}45}{2{,}96} = 1{,}84.$$

C'est-à-dire que, si 1 est l'effort nécessaire pour remorquer une tonne utile ou marchandises, 1,84 sera l'effort nécessaire pour remorquer une tonne poids mort du train ou matériel vide.

Expériences de M. J. Poirée sur le frottement. — *D'après des expériences faites, en 1852, par M. Poirée, ingénieur au chemin de Lyon, si la résistance de l'air augmente avec la vitesse, celle due au frottement de glissement décroît avec elle.*

De ces expériences, faites sur des waggons à frein dans lesquels le frein était serré de manière à les convertir en véritables traîneaux, M. Poirée a tiré les conclusions suivantes :

« La résistance au glissement des waggons à frein est proportionnelle au poids des waggons. Elle peut varier, suivant l'état des rails, du simple au double, soit environ, pour les petites vitesses, de 0,11 à 0,25 du poids remorqué.

« La résistance au glissement des waggons à frein diminue à mesure que la vitesse de marche augmente. Dans les limites de poids et de vitesse usuelles, la diminution de résistance, résultant de l'augmentation de la vitesse, est à peu près indépendante du poids des waggons et de l'état des rails; elle peut être représentée par la fonction suivante de la vitesse :

$$25v - 0{,}35v^2;$$

et, par suite, la résistance des waggons à frein serait donnée par la formule

$$f = kP - 25v + 0{,}35v^2.$$

P étant le poids du waggon;

k étant un coefficient constant, variable seulement avec l'état des rails. On peut employer approximativement :

$k = 0{,}13$ pour des rails humides.
$k = 0{,}30$ pour des rails très-secs.

Les formules ne devant d'ailleurs être appliquées que pour des vitesses comprises entre 5 et 22 mètres par seconde. »

M. Poirée ajoute que la diminution de frottement indiquée par la formule n'est qu'un minimum, car, dit-il, en raison de la discontinuité de la voie, le traîneau éprouve à chaque joint des rails des chocs d'autant plus vifs que la vitesse est plus grande, et ces chocs doivent amener des pertes de force et augmenter le tirage indiqué par les expériences.

Expériences de MM. Bochet et Garella. — MM. Bochet et Garella, ingénieurs des mines, ont, en 1856, confirmé par de nouvelles expériences les résultats obtenus par M. J. Poirée, et, en rapportant ces résultats, ils ont établi la formule suivante :

$$f = \frac{Pk}{1 + av}$$

dans laquelle P représente la pression totale qui s'exerce sur les surfaces frottantes.

k est un coefficient dont la valeur dépend et dépend uniquement de l'état des rails, et qui est de :

0^m,30 quand les rails sont à leur maximum de sécheresse,
0^m,25 quand les rails sont bien secs,
0^m,20 quand les rails sont assez secs,
0^m,14 quand les rails sont mouillés; le coefficient est susceptible de passer par toutes les valeurs intermédiaires.

v représente la vitesse du glissement.

a est un coefficient dont la valeur est différente suivant le mode et les conditions du glissement, et semblerait même varier un peu en même temps avec k et augmenter sensiblement à mesure que k diminue; néanmoins, dans la pratique, on peut, en conservant une approximation bien suffisante, prendre a, quelle que soit d'ailleurs la valeur de k égal à :

0^m,05 quand les roues glissent directement sur les rails.

De nouvelles expériences faites en 1856 par M. J. Poirée en enrayant au moyen du frein Cochot, dont les sabots sont en fer et glissent eux-mêmes sur les rails, ont donné pour a $0^m,07$ au lieu de $0^m,03$.

La surface de glissement avec ces sabots étant plus grande que dans le cas du frottement direct des roues et l'intensité de la pression par unité de surface augmentant, on se demande naturellement si on ne doit pas induire de ce résultat que l'étendue des surfaces frottantes a une certaine influence sur le frottement et que par conséquent la loi admise jusqu'à ce jour de l'égalité du frottement, quelle que soit la surface, n'est pas entièrement exacte, surtout pour les grandes vitesses. Les faits cependant, dit M. Bochet dans une note qu'il a publiée sur les expériences faites par lui en commun avec M. Garella, tout en autorisant le doute, ne sont pas assez concluants pour le résoudre, et la question réclame et mérite assurément une étude spéciale. M. Poirée, d'ailleurs, ne donne la formule que ses expériences l'ont conduit à établir comme susceptible d'application qu'entre certaines limites de vitesse, et ne donne la diminution de frottement indiquée par cette formule que comme minimum.

Nous partageons l'opinion de M. Bochet, et nous faisons des vœux pour qu'il puisse faire prochainement cette étude, comme il l'espère.

Expériences de M. Kinnear Clark. — M. Clark a fait aussi une série d'expériences pour déterminer la résistance à la traction.

Ces expériences, faites sur une voie que l'auteur lui-même déclare avoir été défectueuse, sur des courbes dont M. Clark n'indique pas exactement le rayon et sous l'influence de vents plus ou moins violents, de l'intensité desquels il ne donne aucune mesure, nous paraissent peu concluantes.

Nous croyons toutefois devoir reproduire sommairement les conséquences qu'il en déduit.

La résistance déterminée dans des conditions semblables de pente, de courbure et d'agitation de l'air, a été de 40 p. 100 plus élevée sur la voie étroite ($1^m,50$) des chemins qui ont servi aux expériences de M. Clark que sur la voie large ($2^m,20$) du chemin

de Bristol à Exeter, où M. Daniel Gooch a opéré. Cette différence ne paraît pas tenir essentiellement à la largeur de la voie. Elle provient surtout de l'imperfection des chemins à voie étroite, de la grandeur des surfaces exposées à l'action de l'air, grandeur qui est supérieure dans le cas des voies étroites, et de la petitesse du diamètre des roues, dont l'influence sur une voie imparfaite est très-sensible.

D'autres expériences, faites sur des portions de voie du Calédonian-railway, où la voie, au lieu d'être droite ou à peu près comme dans le cas précédent, présentait une courbe d'un rayon inférieur à 1 mille anglais (1,608 mètres) de rayon pour chaque parcours de 2 milles et demi (4,000 mètres environ), ont conduit à admettre que ce degré de courbure, aux vitesses moyennes des trains, avait pour conséquence un accroissement de 20 p. 100 de la résistance.

Enfin la résistance était encore augmentée de 30 p. 100 sur la voie étroite et de 10 p. 100 seulement sur la voie large pour le vent soufflant latéralement avec une grande force.

Comparant entre eux les résultats des expériences faites sur le chemin de Bristol à Exeter par M. Gooch sur une voie excellente, avec un matériel en bon état d'entretien, la voie étant rectiligne, par un beau temps, sur des rails propres et secs, le vent soufflant latéralement et étant d'une intensité moyenne, M. Clark en déduit les règles suivantes, dont les résultats sont consignés dans le tableau des pages 654 et 655 :

1° Pour déterminer la résistance de la machine, du tender et du train, à une vitesse donnée sur la voie large;

2° Pour déterminer la résistance du train seulement, à une vitesse donnée.

Dans le premier cas, faites le carré de la vitesse en milles par heure. — Divisez par 171 et ajoutez 8 au quotient : vous obtiendrez la résistance du train, machine et tender compris, en livres par tonne.

Dans le second cas, faites le carré de la vitesse en milles par heure. — Divisez par 240 et ajoutez 6 au quotient : vous aurez la résistance du train seul en livres par tonne.

TABLEAU

INDIQUANT LA RÉSISTANCE PAR TONNE DE 1,000 KILOGRAMMES DE MACHINE, ET SUR DES PENTES

1re PARTIE. — CONDITIONS :
- La route bien établie et en bon état.
- — en ligne droite.
- Le vent soufflant de côté et étant de force moyenne.
- La machine, le tender et le train en bon état.

VITESSES EN KILOMÈTRES A L'HEURE.

RÉSISTANCE TOTALE EN KILOGRAMMES PAR TONNE.

PENTES ASCENDANTES.	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112
$\frac{0}{0}$ = 0,0	3 81	4 12	4 56	4 90	5 81	6 65	7 66	8 77	10 01	11 58	12 85	14 48	16 21
$\frac{1}{20}$ = 0,0500	55 16	53 60	51 05	51 93	53 58	56 26	57 15	58 48	59 81	61 13	62 46	64 21	66 01
$\frac{1}{25}$ = 0,0400	45 40	45 86	44 50	44 74	45 65	46 52	47 40	42 29	49 62	50 95	52 72	51 05	55 82
$\frac{1}{30}$ = 0,0330	36 77	37 21	37 66	38 10	38 98	39 87	40 76	41 64	42 97	44 30	46 07	47 40	49 17
$\frac{1}{40}$ = 0,0250	28 35	28 80	29 21	30 12	30 57	31 45	32 31	33 67	35 00	36 33	37 66	39 45	41 20
$\frac{1}{50}$ = 0,0200	23 48	24 02	24 37	24 81	25 69	26 58	27 47	28 35	29 68	31 01	32 78	34 11	35 88
$\frac{1}{60}$ = 0,0170	20 38	20 92	21 26	21 71	22 15	23 04	21 57	25 25	26 58	27 91	29 24	31 01	32 78
$\frac{1}{70}$ = 0,0140	17 72	18 16	18 61	19 49	19 94	20 82	21 71	23 04	24 37	25 69	27 02	28 80	30 57
$\frac{1}{80}$ = 0,0120	15 95	16 39	16 83	17 72	18 16	19 05	19 94	21 26	22 59	23 92	25 25	27 02	28 80
$\frac{1}{90}$ = 0,0110	14 62	15 06	41 08	16 39	16 83	17 72	18 61	19 94	21 26	22 59	23 92	25 69	27 47
$\frac{1}{100}$ = 0,0100	13 73	14 18	14 62	15 06	15 95	16 39	17 72	18 61	19 94	21 26	22 59	24 37	26 14
$\frac{1}{110}$ = 0,0090	12 85	13 29	13 73	14 18	14 62	15 51	16 83	17 72	19 05	20 38	21 71	23 48	25 25
$\frac{1}{120}$ = 0,0080	11 96	12 40	12 85	13 29	14 18	15 06	15 95	16 85	18 16	19 49	21 26	22 59	24 37
$\frac{1}{130}$ = 0,0075	11 52	11 96	12 40	12 85	13 29	14 18	15 06	16 59	17 72	19 05	20 38	22 15	23 92
$\frac{1}{140}$ = 0,0070	11 08	11 52	11 96	12 40	12 85	13 73	14 62	15 95	17 28	18 61	19 94	21 71	23 04
$\frac{1}{150}$ = 0,0065	10 65	11 75	14 52	11 96	12 40	13 29	14 18	15 51	16 85	18 16	19 49	21 26	23 59
$\frac{1}{160}$ = 0,0060	10 19	10 65	11 08	11 52	11 96	12 85	13 73	15 06	16 59	17 72	19 05	20 82	22 15
$\frac{1}{180}$ = 0,0055	9 75	10 19	10 63	11 08	11 52	11 96	13 29	14 62	15 95	17 28	18 61	20 58	21 71
$\frac{1}{200}$ = 0,0050	8 86	9 30	9 75	10 19	11 08	11 52	12 85	13 73	15 06	16 59	17 72	19 49	21 26
$\frac{1}{250}$ = 0,0040	7 97	8 42	8 86	9 30	10 19	10 65	11 52	12 85	14 18	15 51	16 83	18 61	20 58
$\frac{1}{300}$ = 0,0033	7 09	7 53	7 97	8 42	9 30	10 19	11 08	11 96	13 29	14 62	15 95	17 72	19 49
$\frac{1}{350}$ = 0,0031	6 65	7 09	7 53	7 97	8 86	9 75	10 65	11 32	12 85	14 18	15 51	17 28	19 05
$\frac{1}{400}$ = 0,0025	6 20	6 65	7 09	7 53	8 42	9 30	10 19	11 08	12 40	13 73	15 06	16 83	18 61
$\frac{1}{500}$ = 0,0020	5 76	6 20	6 65	7 09	7 97	8 86	9 75	10 63	11 96	13 29	14 62	16 59	18 16
$\frac{1}{600}$ = 0,0016	5 32	5 76	6 20	6 65	7 55	8 42	9 30	10 19	11 52	12 85	14 18	15 95	17 72
$\frac{1}{800}$ = 0,0012	4 87	5 32	5 76	6 20	7 09	7 97	8 86	9 75	11 08	12 40	14 18	15 51	17 28
$\frac{1}{1000}$ = 0,0010	4 87	5 09	5 32	6 20	6 65	7 55	8 42	9 75	11 08	12 40	13 29	15 51	17 28
$\frac{0}{0}$ = 0,0	3 81	4 12	4 56	4 90	5 84	6 65	7 66	8 77	10 01	11 58	12 85	14 48	16 21

DE TENDER ET DE TRAIN, A DIFFÉRENTES VITESSES UNIFORMES
ASCENDANTES VARIÉES.

IIe PARTIE. — Conditions : La route bien établie et en bon état. Des courbes nombreuses de moins de 1,600m de rayon. Vent violent debout et de côté. La machine, le tender et le train en bon état.

VITESSES EN KILOMÈTRES A L'HEURE.													PENTES ASCENDANTES.
16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	
RÉSISTANCE TOTALE EN KILOGRAMMES PAR TONNE.													
5 76	6 20	6 87	7 75	8 86	9 97	11 52	13 29	15 06	17 06	19 27	21 71	24 37	$\frac{0}{0}$ = 0,0
55 38	55 82	56 70	57 59	58 48	59 81	61 13	62 91	64 68	66 89	69 11	71 33	73 98	$\frac{1}{20}$ = 0,0500
45 65	46 07	46 52	47 40	48 73	49 62	51 39	53 16	54 93	56 70	58 92	61 58	64 24	$\frac{1}{25}$ = 0,0400
38 98	39 45	39 87	40 76	42 09	42 97	44 74	46 52	48 29	50 06	52 27	54 93	57 59	$\frac{1}{30}$ = 0,0330
30 57	31 01	31 45	32 34	33 67	34 55	36 33	38 10	39 87	41 64	43 86	46 52	49 17	$\frac{1}{40}$ = 0,0250
25 69	26 14	26 58	27 47	28 80	29 68	31 45	33 23	35 00	36 77	38 98	41 64	44 30	$\frac{1}{50}$ = 0,0200
22 15	22 59	23 48	24 37	25 25	26 58	27 91	29 68	31 45	33 67	35 88	38 10	40 76	$\frac{1}{60}$ = 0,0170
19 94	20 38	20 82	21 71	23 04	23 92	25 6[illegible]	27 47	29 24	31 01	33 23	35 88	38 54	$\frac{1}{70}$ = 0,0140
18 16	18 61	19 05	19 94	21 26	22 15	23 92	25 69	27 47	29 24	31 45	34 11	36 77	$\frac{1}{80}$ = 0,0120
16 83	17 18	17 72	18 61	19 94	20 82	22 59	24 37	26 14	27 91	30 12	32 78	35 44	$\frac{1}{90}$ = 0,0110
15 51	15 95	16 83	17 72	18 61	19 94	21 26	23 04	24 81	27 02	29 24	31 45	34 11	$\frac{1}{100}$ = 0,0100
14 62	15 06	15 95	16 83	17 72	19 05	20 38	22 15	23 92	26 14	28 35	30 57	33 23	$\frac{1}{110}$ = 0,0090
14 18	14 62	15 06	15 95	17 18	18 16	19 91	21 71	23 48	25 25	27 47	30 12	32 78	$\frac{1}{120}$ = 0,0080
13 29	13 73	14 62	15 51	16 39	17 71	19 05	20 82	22 59	24 81	27 02	29 24	31 90	$\frac{1}{150}$ = 0,0075
12 85	13 29	13 73	14 62	15 95	16 83	18 61	20 38	22 15	23 92	26 14	28 80	31 45	$\frac{1}{140}$ = 0,0070
12 40	12 85	12 29	14 18	15 51	16 39	18 16	19 91	21 71	23 48	25 69	28 35	31 01	$\frac{1}{150}$ = 0,00 5
11 96	12 40	12 85	13 73	15 06	15 95	17 72	19 49	21 26	23 01	25 25	27 91	30 57	$\frac{1}{160}$ = 0,0060
11 52	11 96	12 40	13 29	14 62	15 51	17 18	19 05	20 82	22 59	24 81	27 47	30 12	$\frac{1}{180}$ = 0,0055
10 63	11 08	11 96	12 85	13 73	15 06	16 39	18 16	19 94	22 15	24 37	26 58	29 24	$\frac{1}{200}$ = 0,0050
9 75	10 19	11 08	11 96	12 85	14 18	15 51	17 18	19 05	21 26	23 48	25 69	28 35	$\frac{1}{250}$ = 0,0040
8 86	9 30	10 19	11 08	11 96	13 29	14 62	16 39	18 16	20 38	22 59	24 81	27 47	$\frac{1}{300}$ = 0,0033
8 42	8 86	9 75	10 63	11 52	12 85	14 18	15 95	17 71	19 94	22 15	24 37	27 02	$\frac{1}{350}$ = 0,0030
7 97	8 42	9 30	10 19	11 08	12 40	13 73	15 51	17 18	19 49	21 71	23 92	26 58	$\frac{1}{400}$ = 0,0025
7 53	7 97	8 86	9 75	10 63	11 96	13 29	15 07	16 83	19 05	21 26	23 48	26 14	$\frac{1}{500}$ = 0,0020
7 53	7 97	8 42	9 30	10 63	11 52	13 29	15 07	16 83	18 61	20 82	23 48	26 11	$\frac{1}{600}$ = 0,0016
7 09	7 53	7 97	8 86	10 19	11 08	12 85	14 62	16 39	18 16	20 38	23 04	25 69	$\frac{1}{800}$ = 0,0012
6 65	7 09	7 97	8 86	9 75	11 08	12 40	14 18	15 95	18 16	20 38	22 59	25 25	$\frac{1}{1000}$ = 0,0010
5 76	6 20	6 87	7 75	8 86	9 97	11 52	13 29	15 06	17 06	19 27	21 71	24 37	$\frac{0}{0}$ = 0,0

Ces règles peuvent s'appliquer à la résistance sur la voie étroite, en la supposant dans les mêmes conditions de construction, d'entretien et de courbure que la voie large.

C'est à l'aide de ces règles, en se fondant sur les chiffres fournis plus haut comme mesure de l'influence de la courbure et du vent, et admettant la parité entre la voie étroite et la voie large, que M. Clark a dressé le tableau (pages 654 et 655) des résistances par tonne dans différents cas de pente et de courbure, la résistance de la machine et du tender comprise.

M. Clark fait observer qu'à l'aide des règles posées on pourrait facilement dresser un tableau de la résistance du train seulement, mais que, le train étant toujours remorqué par une machine et un tender, cela ne serait pas d'une grande utilité.

SUBSTITUTION DE LA VALEUR DES COEFFICIENTS DANS L'ÉQUATION GÉNÉRALE DU TRAVAIL.

Valeurs des coefficients. — Rapprochant entre elles les différentes expériences précédentes, on en déduit les valeurs suivantes pour les coefficients qui entrent dans les termes représentant les résistances dues au frottement sur l'essieu, au pourtour des roues en plaine et en ligne droite, et la résistance de l'air. Quant au coefficient f''', il est resté jusqu'à présent indéterminé ; mais il y a lieu de croire que cette partie de la résistance est considérable.

La formule générale pour la substitution de la valeur des coefficients deviendrait alors la suivante :

$$T = 0,035 \frac{d}{D} P + 0,001 (P+p) + 0,005064 A V^2 \pm$$
$$\pm (P+p) \operatorname{tang} \alpha + 0,16 \frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\rho} (P+p) +$$
$$+ f''' \frac{P+p}{g} \frac{1}{\rho} V^2 \frac{\sqrt{2Rh+h^2}}{R}$$

Nous avons adopté pour f'' le chiffre 0,16 en prenant la valeur moyenne du coefficient du frottement de glissement entre deux surfaces métalliques polies, déterminé par Coulomb et Morin.

Peut-être y aura-t-il lieu de modifier sensiblement ce terme de l'équation lorsque les résultats avancés par MM. J. Poirée, Bochet et Garella auront été confirmés.

Discussion de la formule. — On tire de la discussion de cette formule les conclusions suivantes, qui présentent un très-grand intérêt :

On diminue la résistance en diminuant le diamètre des fusées et en augmentant celui des roues.

Toutefois il résulte des expériences de M. Wood, précitées, qu'en diminuant outre mesure le diamètre des fusées on change la nature des surfaces frottantes, de telle façon que le travail augmente au lieu de diminuer.

En général, les waggons actuels ont des roues de $0^{m},90$ à 1 mètre. Avec des roues trop grandes on élèverait les caisses de voitures outre mesure au-dessus des rails, à moins de complications dans le mode de construction des véhicules. L'accroissement du diamètre des roues aurait aussi pour inconvénient d'en augmenter le poids, ce qui donnerait lieu à une augmentation de résistance très-faible sur les parties peu inclinées, mais assez sensible sur les fortes pentes.

Tous les termes qui composent le second membre de l'équation étant, à l'exception de celui qui représente la résistance de l'air, proportionnels au poids du waggon ou au moins au poids de la caisse, *il est avantageux de rendre le matériel roulant aussi léger que le permettent la prudence et l'économie de l'entretien.*

Nous avons vu que, dans ces derniers temps, on avait considérablement réduit le poids mort des waggons à marchandises, mais que les exigences du public avaient forcé à augmenter celui des voitures à voyageurs.

Deux résistances, celle de l'air et la résistance occasionnée par le frottement, dans les courbes, du bourrelet des roues contre la face latérale du rail, étant proportionnelles au carré de la vitesse, *on réduit considérablement la résistance totale, et, par suite, les frais de traction, en diminuant la vitesse. On tire ainsi meilleur parti des machines à de petites vitesses qu'à de grandes.* C'est pourquoi les trains de marchandises pour lesquels une grande vitesse

n'est pas absolument nécessaire, comme pour les trains de voyageurs, doivent marcher à la plus petite vitesse compatible avec le service.

Les deux derniers termes de la formule montrent que :

Le passage dans les courbes donne lieu à une augmentation de résistance par unité de distance parcourue d'autant plus sensible que le rayon est plus petit.

On voit de plus que :

Dans tout changement de direction du tracé le travail résistant total, propre au parcours de la partie courbe qui raccorde les deux alignements droits, est indépendant du rayon de courbure; mais la grandeur de celui-ci n'est pas pour cela tout à fait indifférente dans l'appréciation de la dépense finale de traction, puisque toute réduction du rayon ou du développement de la courbe correspond à un allongement du parcours total ou à un petit surcroît de travail sur l'alignement droit.

En augmentant le rayon des courbes à grands frais on a donc bien moins pour objet de diminuer le travail sur les alignements que de réduire le travail résistant par unité de distance parcourue en courbe, de façon qu'il ne dépasse pas certaines limites dans les circonstances accidentelles les plus défavorables, limites au-dessus desquelles les machines éprouveraient une fatigue et une usure excessives.

C'est ainsi que dans le tracé des routes on diminue au moyen de circuits la résistance par unité de distance parcourue. Il faut seulement remarquer que, dans ce dernier cas, le travail total augmente, tandis que, dans le premier, il diminue.

Nous avons vu que les résistances qui naissent au passage des courbes et dont on se rend compte par l'analyse qui précède sont considérablement diminuées dans la pratique par deux dispositions particulières du matériel dont une longue expérience a consacré l'efficacité et l'importance, la forme conique des jantes de roues et l'inclinaison transversale de la voie.

L'inclinaison transversale de la voie donne lieu à une inclinaison semblable du waggon; celui-ci tend dès lors à se rapprocher du centre de la courbe, et l'effet de la force centrifuge se trouve dé-

truit en tout ou en partie. On peut la détruire en totalité pour une vitesse déterminée si l'on donne au rail extérieur, au-dessus du rail intérieur, dans chaque courbe, une surélévation telle, que les composantes de la gravité et de la force centrifuge opposées suivant la direction de l'inclinaison transversale de la voie soient exactement égales.

La surélévation se calcule alors de la manière suivante : soit α l'angle qui formait avec l'horizon une droite *mn* (fig. 632) nor-

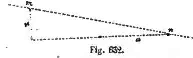


Fig. 632.

male à la voie et coupant les axes des deux files de rails de la courbe extérieure et de la courbe intérieure. Soit P le poids du waggon, P *sin* α sera la composante de P et elle mesurera la force centripète. Soit F la force centrifuge dans le plan horizontal, la composante opposée à la force centripète sera P *cos* α. Pour que l'équilibre existe on devra écrire :

$$P \sin \alpha = F \cos \alpha;$$

D'où :

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \text{tang } \alpha = \frac{F}{P}.$$

Si l'on désigne par x la surélévation et par a la demi-largeur de la voie, on a aussi :

$$\text{Tang } \alpha = \frac{x}{2a};$$

D'où :

$$\frac{x}{2a} = \frac{F}{P}.$$

Mais, si v est la vitesse en mètres par seconde, g la gravité et ρ le rayon moyen de la courbe,

$$F = \frac{Pv^2}{g\rho} = \frac{Pv^2}{9{,}8088\rho};$$

D'où :

$$\frac{x}{2a} = \frac{v^2}{9{,}8088\rho}$$

$$x = \frac{2a\, v^2}{9{,}8088\rho}.$$

V désignant la vitesse en kilomètres par heure,

$$V = 3{,}600v;$$
$$V^2 = 12{,}960v^2;$$
$$v^2 = \frac{V^2}{12{,}960};$$

D'où : $$x = \frac{2aV^2}{9{,}8088 \times 12{,}960\rho} = \frac{aV^2}{63{,}561024\rho}.$$

Pour obtenir cette surélévation, on doit augmenter la pente de l'alignement qui précède la courbe de 1 millimètre par mètre, de manière que la file extérieure de rails de la courbe soit surélevée de la quantité totale dès l'origine de cette courbe.

L'effet de cette surélévation à des vitesses moindres que celle à laquelle elle aura été appliquée tendra à rejeter les véhicules sur le rail intérieur et à y reporter ainsi une portion de l'inconvénient de la courbure de la voie; mais le danger de déraillement sera du moins écarté et la conicité des roues y remédiera d'ailleurs dans une certaine mesure.

Il ne faut donc pas craindre, dans le double intérêt de la facilité et de la sécurité de la circulation, de baser l'inclinaison transversale de la voie sur la plus grande des vitesses avec lesquelles les trains de voyageurs pourront avoir à parcourir chaque courbe.

La rigidité du plan commun des roues de chaque véhicule résultant du parallélisme des essieux nécessite d'ailleurs entre les boudins ou mentonnets des roues et les bords intérieurs des rails un jeu ou excès de largeur de la voie proportionné à l'écartement des essieux extrêmes et d'autant plus grand que le rayon des courbes du tracé est plus petit.

Formule de M. Harding. — M. Harding a proposé une formule pour calculer les résistances des convois remorqués, machine non comprise, sur les chemins à voie étroite. Les résultats qu'elle donne sont un peu trop forts pour les faibles vitesses, mais conviennent bien aux grandes vitesses de 60 à 100 kilomètres, les trains pesant de 20 à 100 tonnes.

R étant la résistance totale par tonne exprimée en kilogrammes;
V la vitesse en kilomètres par heure;

N la plus grande section transversale du train;
T le poids du train exprimé en tonnes;
i l'inclinaison maxima du chemin;
Cette formule est :

$$R = 2^k,72 + 0,094\,V + 0,00484\,\frac{NV^2}{T} + 1000\,i.$$

Le terme $2^k,72$ est le coefficient de frottement des véhicules.

Le second terme exprime la résistance due aux chocs et vibrations qui résultent du passage sur les joints des rails et des mouvements irréguliers du train. Le troisième terme représente la résistance de l'air.

Formule de M. Redtenbacher. — M. Redtenbacher, le célèbre professeur de mécanique à l'École polytechnique de Carlsruhe, reproche à M. Harding de ne pas avoir égard dans sa formule à la longueur du train comme augmentant la résistance de l'air, et en donne une autre qui a l'avantage de tenir compte d'un plus grand nombre de circonstances influant sur la résistance; nous ne croyons pas toutefois devoir la reproduire, attendu que les termes qui expriment la résistance propre des machines renferment des coefficients empruntés au *Traité* de M. Pambourg, et que ces coefficients ont été obtenus en opérant sur des machines aujourd'hui abandonnées.

DÉTERMINATION DES RÉSISTANCES ACCIDENTELLES.

Nous n'avons jusqu'à présent traité que des résistances normales opposées à l'action du moteur, en supposant l'atmosphère parfaitement calme. Mais les chiffres que nous avons donnés sont singulièrement modifiés par les résistances accidentelles que peut développer l'action des vents en face, en queue ou sur le côté du train, et qu'il était bon d'apprécier. MM. Lardner et Morin ont fait, dans ce but, des expériences dont les tableaux suivants indiquent les résultats.

Le docteur Lardner a cherché à se rendre compte de l'effet des vents en lançant des waggons sur des plans diversement inclinés,

et en déterminant leur vitesse quand elle est devenue uniforme. Voici quelques-unes de ses observations.

DÉSIGNATION DES VENTS.	PENTE.	RÉSISTANCE.	VITESSE UNIFORME en kilomètres par heure.
Calme parfait.	0,004	0,004 P+p	30
»	0,011	0,011 (P+p)	54
Vent arrière.	0,010	0,010 (P+p)	54
»	0,003	0,003 (P+p)	30
»	0,005	0,005 (P+p)	38
Vent de bout.	0,010	0,010 (P+p)	45
Vent de côté.	0,005	0,005 (P+p)	27

En 1840, M. Morin a mesuré directement, à l'aide d'un dynamomètre à ressort, la résistance d'un convoi de cinq waggons, pesant ensemble $27^t,6$, remorqués à la vitesse de 18 à 25 kilomètres à l'heure. Ces expériences ont été faites sur le chemin de Saint-Germain, dont le tracé et le profil sont très-peu accidentés. Voici les résultats de ces expériences.

DÉSIGNATION DES VENTS.	RÉSISTANCE TOTALE par tonne.	NOMBRE des EXPÉRIENCES.	VITESSES MOYENNES en kil. à l'heure.
Vent arrière.	$5^k,05$	12	18 à 25^k
Vent de bout	$8^k,20$	10	*id.*
Vent arrière.	$3^k,98$		17
Vent oblique opposé au mouvement, ayant une vitesse d'environ trois mètres par seconde.	$5^k,52$ $10^k,25$	4	40

On remarque, à l'inspection de ces tableaux, que le vent de bout

c'est-à-dire le vent soufflant en sens contraire de la marche du convoi, n'agissant que sur une petite surface, produit bien moins d'effet que le vent soufflant latéralement. Il est à regretter que M. Lardner n'ait pas, comme M. Morin, indiqué la vitesse du vent dans ses expériences.

Nous terminerons ce chapitre par un tableau comparatif des résistances à différentes vitesses sur les chemins de fer, les routes ordinaires et les canaux.

COMPARAISON DE LA RÉSISTANCE SUR LES DIFFÉRENTES VOIES DE COMMUNICATION.

Routes ordinaires en bon état.	$\frac{1}{30}$	$=0,033$
Routes en bois.	$\frac{1}{70}$	$=0,014$
Chemins de fer (vitesse modérée, 32 kilomètres par heure).	$\frac{1}{300}$	$=0,003$
— (grande vitesse, 48 kilomètres par heure).	$\frac{1}{100}$	$=0,010$
Canaux, grande section avec bateaux ordinaires, très-faible vitesse.	$\frac{1}{1000}$	$=0,001$
— vitesse double.	$\frac{1}{250}$	$=0,004$
— vitesse quadruple.	$\frac{1}{62}$	$=0,016$
Canaux petite section avec bateaux ordinaires, faible vitesse.	$\frac{1}{600}$	$=0,0017$
— vitesse double.	$\frac{1}{150}$	$\doteq 0,0066$
— vitesse quadruple.	$\frac{1}{37}$	$=0,0303$

Nous avons supposé que le transport s'opérait, sur les canaux, avec les bateaux ordinaires, et que la résistance y croissait comme le carré de la vitesse[1]. Lorsqu'on se sert des bateaux effilés, semblables aux pirogues des Indiens, bateaux qui sont en usage sur certains canaux d'Écosse, la résistance au delà d'une vitesse de 3 mètres par seconde continue à croître, mais en suivant une progression indéterminée, moins rapide que celle du carré. Ces ba-

[1] Sur les canaux à petite section, quand les bateaux ont une certaine largeur, la résistance croît comme le cube de la vitesse.

teaux ne sont employés que pour le transport des voyageurs, et, bien qu'ils n'éprouvent pas à de grandes vitesses la même résistance que les bateaux ordinaires, ils n'en ont pas moins à surmonter une résistance encore énorme, comparée à celle opposée au moteur aux mêmes vitesses sur les chemins de fer.

Il semblerait, d'après les chiffres donnés dans le tableau, que le transport des marchandises encombrantes, qui n'exige généralement pas une grande vitesse, devrait s'opérer plus avantageusement par les canaux que par les chemins de fer. Cela serait vrai si l'on se servait du même moteur sur l'une et sur l'autre espèce de voies de communication; mais il ne faut pas oublier que tous les essais tentés jusqu'à ce jour pour employer la vapeur à la traction sur les canaux ont été infructueux. C'est ce qui rend la traction souvent moins coûteuse sur les chemins de fer, même à de petites vitesses, bien que l'effort de traction y soit beaucoup plus grand; toutefois ce résultat n'est atteint qu'à la condition de tirer le meilleur parti possible de la machine à vapeur, en lui faisant traîner des convois complets ou à peu près.

CHAPITRE XVI.

THÉORIE DES LOCOMOTIVES

ÉTUDE ANALYTIQUE DU TRAVAIL DE LA LOCOMOTION ET DES RÉSISTANCES QU'ELLE DOIT VAINCRE.

Travail de la machine.

Problème à résoudre. — Quand il s'agit de déterminer les effets que l'on peut obtenir d'une machine à vapeur fixe, la question à résoudre est en général la suivante :

Combien de kilogrammètres cette machine pourra-t-elle fournir dans des circonstances données de distribution, si l'on suppose que l'on puisse disposer d'une quantité indéfinie de vapeur à une pression déterminée?

Dans les machines locomotives, la quantité de vapeur fournie est limitée; elle dépend essentiellement de la disposition de la chaudière et des circonstances de la marche. Néanmoins nous allons tenter d'indiquer la méthode à suivre pour aborder le problème suivant :

Étant donné un mécanisme composé de deux cylindres, de leur distribution, de leurs appareils de prise de vapeur et d'échappement, quelle charge cet appareil pourra-t-il remorquer à une vitesse donnée, s'il est mis en communication avec un réservoir contenant de la vapeur à une pression déterminée et invariable?

Nous montrerons ensuite en quoi les conditions du problème se modifient dès que l'on fait entrer en ligne de compte la quantité de vapeur que la chaudière sera capable de produire dans chaque cas particulier.

Quand la vitesse d'un train remorqué par une machine locomotive est devenue uniforme, il y a équilibre entre le travail moteur et le travail résistant; en d'autres termes, le travail développé par la vapeur motrice pendant un certain temps est égal au travail résistant développé pendant le même espace de temps par le train, machine comprise.

Lorsque nous avons étudié les importantes questions de l'avance et du recouvrement, nous avons vu que l'action de la vapeur comportait six périodes bien distinctes, savoir :

L'admission,

La détente,

L'échappement anticipé,

L'échappement proprement dit,

La compression,

La marche à contre-vapeur,

lesquels se succèdent dans l'ordre ci-dessus pendant un tour complet des roues motrices.

Admission. — Au moment où le piston quitte le fond du cylindre, la lumière d'introduction est déjà ouverte d'une certaine quantité. Aux premiers instants de la marche, la vitesse du piston est faible; elle va en augmentant jusqu'à ce qu'il ait atteint environ le milieu de sa course; puis elle diminue pour redevenir nulle quand il arrive à l'extrémité du cylindre.

Or, à mesure que le piston se déplace, la vapeur qui remplit le réservoir et les canaux qui la conduisent dans le cylindre se précipite dans l'espace que ce piston laisse libre derrière lui, et ce mouvement ne peut avoir lieu qu'en vertu d'une différence de pression entre la vapeur contenue dans le réservoir et celle qui remplit le cylindre. On a reconnu par l'expérience que cette différence de pression, nécessaire pour vaincre les résistances que la vapeur éprouve à se mouvoir dans des conduites longues, sinueuses et présentant des variations brusques de section, est d'autant plus

grande que la vitesse est plus considérable. Si donc la forme de la conduite ne variait pas pendant une course entière du piston, la pression, constante dans le réservoir, serait dans le cylindre un maximum au commencement et à la fin, un minimum au milieu de cette course.

Mais, tandis que le piston se déplace, le tiroir ne reste pas immobile. L'ouverture par laquelle la vapeur passe de la boîte à tiroir dans la lumière du cylindre change sans cesse de grandeur; on peut admettre sans grande erreur que, pour une distribution normale, elle croît et décroît avec la vitesse du piston. Ainsi la résistance au mouvement de la vapeur, augmentant dans le tuyau de prise de vapeur et dans les conduits du cylindre, diminue au passage des lumières; il s'établit de cette manière une sorte de compensation entre ces deux causes de changement de pression dans les cylindres, et l'on peut considérer cette pression comme constante pendant toute la durée de l'admission, sauf à prendre une moyenne.

Le travail de la vapeur pendant cette période est égal au produit de la pression de la vapeur sur le piston par le chemin qu'il parcourt pendant l'admission. Il dépend donc essentiellement de la pression de la vapeur dans le cylindre.

Le rapport entre cette pression et celle de la vapeur contenue dans la chaudière varie avec les circonstances suivantes :

1° La vitesse moyenne du piston, laquelle dépend de la vitesse de translation du train et du rapport entre le diamètre des roues motrices et la course des pistons;

2° L'ouverture plus ou moins grande du régulateur;

3° La forme plus ou moins sinueuse et les dimensions de la conduite et des canaux des cylindres;

4° La marche des tiroirs;

5° La densité de la vapeur, qui croît avec sa pression et surtout avec la quantité d'eau qu'elle entraîne mécaniquement.

La théorie du mouvement des fluides compressibles est trop peu avancée pour que l'on puisse *calculer* l'influence de chacune de ces causes de résistance.

Si, malgré cela, on voulait soumettre au calcul cette partie du

travail de la vapeur, il faudrait affecter la pression de cette vapeur dans le réservoir d'un coefficient variable avec la vitesse[1]. Ce coefficient se déduirait des expériences dont nous parlerons à la fin de ce chapitre, en choisissant pour chaque cas particulier celles qui paraîtraient se rapprocher le plus des circonstances.

La compensation des résistances dont nous avons parlé plus haut n'existe plus quand la distribution est réglée avec beaucoup d'avance et de recouvrement. Faute de méthodes sûres pour calculer les variations de pression, on devra, même dans ce cas, recourir à une moyenne expérimentale.

Détente. — Le travail dû à la détente de la vapeur est facile à calculer quand on connaît la pression au commencement de cette période et le rapport entre le volume initial et le volume final de la vapeur.

Si l'on désigne par p la tension sensiblement constante de la vapeur pendant l'admission, par p' la valeur moyenne de la pression résistante absolue derrière le piston, par l la course totale du piston, par d son diamètre en centimètres, par l' la portion de la course pendant laquelle la détente a lieu, le travail moteur durant l'admission sera $\frac{\pi d^2}{4} p\,(l, - l')$. Si l'on désigne par λ la distance de l'origine de la course du piston à l'une quelconque de ses positions dans la période de détente, par q la tension correspondante de la vapeur, le travail moteur élémentaire pendant la détente sera $\frac{\pi d^2}{4}\, q\, d\lambda$ et le travail total pendant la détente $\frac{\pi d^2}{4} \int_{l-l'}^{l} q\, d\lambda$, ou, q étant égal à $p \frac{l-l'}{\lambda}$,

$$\frac{\pi d^2}{4} p\,(l-l') \int_{l-l'}^{l} \frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{\pi d^2}{4} p\,(l-l') \frac{1}{\log e} \log \frac{l}{l-l'}.$$

On aura donc pour expression du travail moteur de la vapeur,

[1] L'influence de l'eau entraînée par des étranglements et sinuosités de la conduite de vapeur est sans nul doute fort grande ; mais, comme il n'existe aucune donnée pour l'apprécier, on est obligé de la négliger. C'est pour cela que nous conseillons de ne tenir compte que de la vitesse moyenne du piston dans l'évaluation de la pression de la vapeur dans le cylindre.

pendant l'oscillation simple du piston ou pendant une demi-révolution des roues motrices,

$$\frac{\pi d^2}{4} p (l-l') \left(1+2{,}303 \log \frac{l}{l-l'}\right),$$

et, pour celle du travail utile, le travail résistant étant $\frac{\pi d^2}{4} p' l$,

$$\frac{\pi d^2}{4} \left\{p (l-l') \left(1+2{,}303 \log \frac{l}{l-l'}\right) - p' l\right\}.$$

Les valeurs du terme $1+2{,}303 \log \frac{l}{l-l'}$, qui sont

$$1{,}357 - 1.916 \text{ et } 3{,}303$$

pour $l'=0{,}3.\,l \quad 0.6.\,l \quad 0{,}9.\,l,$

montrent l'importance de la détente pour l'économie de vapeur et de combustible dans une machine donnée, ou pour l'augmentation de sa puissance sans modification des conditions de vaporisation.

Échappement anticipé. — Dès que l'arête intérieure du tiroir découvre la lumière du cylindre, la vapeur emprisonnée dans ce cylindre est mise en communication avec l'atmosphère : elle s'échappe. Sa pression diminue rapidement jusqu'à ce qu'elle soit devenue égale à celle de l'atmosphère, augmentée de celle qui est nécessaire pour lui faire vaincre les résistances qu'elle éprouve en circulant dans le canal du cylindre, dans la cavité du tiroir et dans le tuyau d'échappement. Ces résistances, analogues à celles que nous avons signalées pour l'admission, dépendent des mêmes éléments, si ce n'est que l'ouverture du régulateur est ici remplacée par celle de la tuyère d'échappement.

La pression, au commencement de cette période, dépend essentiellement de la durée de l'admission et de celle de la détente. Cette pression est d'autant plus grande, que la quantité de vapeur admise est plus considérable et qu'elle s'est moins détendue.

Comme pour l'admission, il faudrait avoir recours aux expériences connues pour estimer le travail exercé par la vapeur sur le piston.

Échappement proprement dit. — Pendant la marche rétrograde

du piston, la vapeur, qui jusqu'ici avait exercé un travail moteur sur ce piston, crée des résistances à sa marche.

La vapeur qui remplit le cylindre à l'instant où le piston atteint l'extrémité de sa course continue à s'échapper jusqu'à ce que le rebord intérieur du tiroir vienne rencontrer celui de la lumière.

Le travail résistant créé par cette vapeur dépend de sa pression; celle-ci varie encore avec la vitesse du piston, la forme et les dimensions des conduits, l'ouverture de la tuyère et la quantité d'eau entraînée.

Il faudrait donc adopter, pour évaluer ce travail, une pression moyenne déduite des expériences, comme nous l'avons déjà indiqué pour l'admission et pour l'échappement anticipé.

Compression. — Le travail résistant dû à la compression de la vapeur se calculera, comme sa détente, quand on connaîtra sa pression au commencement de cette période et son volume initial et final. En effet, si l'on commençait par comprimer un volume donné d'un gaz pour le ramener ensuite au volume initial, le travail qu'il aurait fallu exercer sur ce gaz pour le comprimer serait exactement égal à celui qu'il serait capable de produire en se détendant.

Il est bon de remarquer que la compression, bien qu'elle augmente le travail résistant qu'éprouve le piston, peut être utile dans certaines limites.

En effet, si toute la vapeur contenue dans le cylindre s'échappait, la dépense de vapeur serait égale, pour chaque coup de piston, au volume engendré par ce piston, augmenté du volume nécessaire pour remplir les espaces nuisibles, la pression étant celle que possède la vapeur à l'instant où l'admission cesse. La quantité de vapeur retenue par la compression doit être évidemment déduite de cette dépense.

Travail à contre-vapeur. — Le travail à contre-vapeur se calculera comme celui de l'admission, en adoptant une pression moyenne que l'on déduira des expériences, et en multipliant l'effort supporté par le piston par le chemin qu'il aura parcouru pendant cette période.

Le travail total reçu par une face de l'un des pistons, pendant un tour de roue, est égal à la somme des trois premiers travaux, di-

minuée de la somme des trois derniers. Le travail total exercé sur les deux pistons est égal à quatre fois cette différence. La valeur en kilogrammes de l'effort de traction s'obtiendra en divisant ce travail exprimé en kilogrammètres par la circonférence des roues motrices exprimée en mètres.

RÉSISTANCES A VAINCRE.

Différentes natures de résistances. — Le travail de la vapeur est employé à vaincre les résistances, que l'on peut classer de la manière suivante :

1° La résistance du convoi remorqué;

2° La résistance qu'éprouve la machine à se mouvoir sur les rails, si on la considère comme un simple véhicule, c'est-à dire l'effort qu'il faudrait exercer sur cette machine pour la remorquer à la vitesse donnée, si l'on avait préalablement démonté les bielles, pompes et excentriques;

3° Le frottement des pièces du mécanisme provenant du poids de ces pièces et du serrage des garnitures;

4° Le frottement additionnel qui résulte de l'action de la vapeur sur les tiroirs et sur les pistons.

Résistance des trains. — Nous avons vu dans le chapitre précédent comment on calcule l'effort à exercer sur un train pour lui faire conserver sa vitesse; nous n'avons donc plus à y revenir.

Connaissant la charge que porte chaque fusée d'essieu, on en déduira le frottement de ces fusées; puis on déterminera l'effort qui, agissant au pourtour des roues, ferait équilibre à ce frottement.

On évaluera de même le frottement de roulement des roues et la résistance de l'air, comme nous l'avons indiqué pour les waggons; la somme de ces trois quantités sera l'effort nécessaire pour faire conserver à la machine la vitesse donnée.

Résistance propre à la machine. — L'expérience seule peut indiquer la valeur de cette deuxième partie de la résistance d'une machine.

M. de Pambour, dont nous avons déjà cité les expériences rela-

tives aux waggons, et qui a fait également de nombreuses recherches sur l'effet des locomotives, l'a déterminé par trois moyens différents.

Faisant marcher la machine seule ou avec son tender à une très-faible vitesse et avec la pression la plus petite qui pût entretenir son mouvement, il a supposé que la pression de la vapeur dans les cylindres était la même que dans la chaudière, et il a déterminé ainsi l'effort exercé par cette vapeur.

En retranchant de cet effort la résistance de cette machine et de son tender considérés comme véhicules, et celle qui est due à la pression de la vapeur dans le cylindre, il a trouvé que le mécanisme créait une résistance additionnelle d'environ 30 kilogrammes pour les machines à roues non couplées, et de 36 kilogrammes pour les machines à roues couplées.

Il a déterminé également l'effort total nécessaire pour entretenir un mouvement très-lent de la machine en la faisant traîner par l'intermédiaire d'un dynamomètre à ressort. Les résultats de cette seconde expérience ont été conformes à ceux de la première.

Enfin il a abandonné des machines isolées à l'action de la pesanteur sur des plans inclinés. Au moyen du calcul, il a déduit des espaces parcourus dans un temps donné la valeur de la résistance de la machine. Ces dernières expériences ont donné les valeurs suivantes pour les résistances propres au mécanisme :

Machines non couplées.	16^k »»
Id. couplées.	19 50

En moyenne, M. de Pambour a adopté les chiffres suivants :

Machines non couplées.	22^k »»
Id. couplées.	27 »»

Dès que la vapeur est admise dans les cylindres, elle exerce sur les tiroirs et sur les pistons des efforts qui se traduisent en frottements des tiroirs, des excentriques, des glissières, des bielles et de l'essieu moteur. Ces frottements, étant proportionnels aux pressions qui les engendrent, le seront à la pression moyenne de la vapeur dans les cylindres, et, par conséquent, à la résistance totale du train à laquelle cette pression fait équilibre. On peut donc admettre que

l'action de la vapeur augmente la résistance totale à vaincre d'une certaine fraction que M. de Pambour évalue à 0,137 pour les machines non couplées, et à 0,215 pour les machines couplées.

Les expériences de M. de Pambour ont eu lieu sur des machiues bien moins puissantes que celles que l'on emploie aujourd'hui : les chiffres qu'il a trouvés ne pourraient pas s'appliquer aux moteurs actuels. Nous avons cru devoir les reproduire cependant, parce qu'ils peuvent servir comme termes de comparaison.

ÉQUATION DU TRAVAIL MOTEUR ET DU TRAVAIL RÉSISTANT.

Tous les éléments des efforts moteur et résistant sont donc des fonctions de la vitesse et de la charge, et l'on conçoit que l'on pourrait arriver à les calculer.

En égalant l'effort de traction moyen à la somme des résistances, on obtiendrait une équation dont les seules variables seraient la masse à mouvoir et la vitesse. A l'aide de cette équation, on résoudrait aisément les deux questions suivantes pour chaque ouverture du régulateur et de la tuyère d'échappement, et chaque degré de détente :

Quelle charge le mécanisme moteur considéré pourrait-il remorquer à une vitesse donnée, s'il disposait d'une quantité de vapeur indéfinie à une pression donnée?

A quelle vitesse ce mécanisme remorquerait-il une charge donnée dans les conditions ci-dessus indiquées?

Vapeur produite. — Mais les chaudières de locomotives produisent rarement une quantité de vapeur telle, que, pour tous les degrés de détente et d'ouverture du régulateur et pour toutes les vitesses, la vapeur fournie par la chaudière puisse remplacer celle qui serait dépensée par les cylindres.

En général, si l'on détendait peu et si le régulateur était complétement ouvert, le poids de la vapeur produite serait bien inférieur à celui qui passerait par les cylindres.

Vapeur utilisée. — Le volume de la vapeur qui est dépensée par les cylindres pour un tour de roues est constant, mais son poids est proportionnel à sa pression. Avec un poids donné de

vapeur, on pourra donc fournir un nombre de tours de roues d'autant plus grand que la pression de cette vapeur dans les cylindres sera plus faible. Mais, comme l'effort de traction exercé par la machine dépend essentiellement de cette pression, on conçoit aisément que cet effort de traction soit limité par le poids de la vapeur fournie par la chaudière.

Quand l'équilibre entre la production et la dépense est altéré, il peut être rétabli de deux manières : 1° spontanément par un abaissement de pression dans la chaudière qui en détermine un analogue dans les cylindres; 2° en fermant partiellement le régulateur, ce qui augmente la différence de pression entre la chaudière et les cylindres[1].

En réalité, le problème de l'effet d'une machine locomotive ne peut être résolu que si l'on a préalablement déterminé *la quantité maxima de vapeur que cette machine peut produire à la vitesse donnée et dans des conditions de distribution déterminées.*

Influence des surfaces de chauffe. — La production de vapeur dépend de deux éléments bien distincts :

1° La quantité de chaleur que peuvent transmettre les surfaces de chauffe;

2° La quantité de combustible que cette machine peut brûler complétement dans un temps donné et dans les conditions considérées.

Nous avons vu que la surface de chauffe des machines locomotives se subdivise en deux parties :

La surface du foyer;

La surface des tubes.

La surface intérieure du foyer reçoit directement la chaleur rayonnée par le combustible; sa température est par cela même très-élevée, et la transmission de la chaleur à travers ses parois, qui

[1] Il est toujours préférable de recourir à la fermeture du régulateur, parce que l'on peut avoir à vaincre des résistances accidentelles qui exigent *momentanément* un accroissement dans l'effort de traction; accroissement que l'on ne pourrait obtenir si le régulateur était complétement ouvert. Si la machine est à détente variable, il faut donner au régulateur son ouverture maxima et régler la vitesse en détendant plus ou moins.

est proportionnelle à la différence de température de ses deux surfaces, est très-considérable.

Les tubes, par contre, sont à l'abri du rayonnement du combustible; ils sont parcourus dans leur partie voisine du foyer par la flamme, dans leur partie antérieure par les gaz chauds qui sont les produits de la combustion. La température de la surface des tubes est éminemment variable pour un même tube d'un point à l'autre de sa longueur, pour tous les tubes avec l'activité de la combustion.

Mais leur surface extérieure est en contact avec l'eau de la chaudière, dont la température est sensiblement constante; la quantité de chaleur transmise par chaque unité de surface intérieure des tubes sera donc plus grande près du foyer que près de la boîte à fumée.

On admet en moyenne, d'après des expériences déjà anciennes, que chaque mètre carré de surface du foyer équivaut à 3 mètres carrés de la surface des tubes.

Dans certaines machines, les tubes sont longs et peu nombreux; dans d'autres, ils sont moins longs et en plus grand nombre.

Dans le deuxième cas, la température moyenne des gaz qui les traversent sera, toutes choses égales d'ailleurs, plus élevée que dans le premier; la quantité de vapeur produite par l'unité de surface sera moindre pour les tubes d'une grande longueur que pour les tubes courts.

En revanche, ces derniers refroidissent moins bien la fumée que les premiers, et doivent leur être inférieurs sous le rapport de l'utilisation complète du combustible.

Le rapport que nous avons indiqué n'a donc rien d'absolu; il est même probable que, déterminé sur des machines dont les tubes étaient plus courts que ceux que l'on emploie aujourd'hui, il serait en tout cas trop avantageux à la surface tubulaire.

Quantité de coke brûlé. — La quantité de vapeur produite dans un temps donné est limitée essentiellement par la quantité de combustible qui a été brûlé dans ce même espace de temps, laquelle est proportionnelle à la quantité d'air qui aura traversé le combustible, ou, en d'autres termes, au *tirage*.

Un kilogramme de coke, en absorbant 1,3 kilogrammes d'oxygène, se transforme en oxyde de carbone et produit 1,200 unités de chaleur. S'il se combine à 2,6 kilogrammes d'oxygène, il se transformera en acide carbonique et produira 6,000 unités de chaleur.

La transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique exige donc la même quantité d'oxygène que la transformation du charbon en oxyde de carbone, et produit une quantité de chaleur quadruple.

Ainsi il est évident qu'il faudra toujours brûler complétement le combustible (c'est-à-dire le transformer en acide carbonique), soit pour en réduire la consommation à un minimum, soit pour arriver, avec un tirage donné, à la plus grande production de vapeur possible.

Nous allons raisonner dans l'hypothèse que la charge de coke sur la grille sera toujours réglée de manière à produire cette combustion complète.

Il est reconnu que 1 kilogramme de coke exige, pour être brûlé complétement, 15 mètres cubes d'air.

Il suffirait donc de diviser par 15 le nombre de mètres cubes d'air qui traversent le foyer pendant une seconde pour déterminer le nombre de kilogrammes de coke brûlé pendant le même temps.

Quelle que soit l'activité du tirage, la surface de chauffe d'une locomotive donnée ne changera pas.

Si cette machine brûle une faible quantité de combustible, les produits de la combustion traverseront lentement les tubes et se refroidiront d'une manière complète; si la combustion est très-active, le refroidissement de la fumée sera imparfait. Dans le premier cas, un kilogramme de coke produira plus de vapeur que dans le second, et l'on doit admettre :

Que, pour une machine donnée, la quantité de vapeur produite par un kilogramme de coke variera avec la quantité de ce combustible qui sera brûlée dans l'unité de temps, et que cette variation suivra une loi que l'on pourrait déterminer par expérience.

Éléments influant sur le tirage. — La quantité de coke brûlé

étant proportionnelle au tirage, il nous reste à examiner quels sont les éléments qui influent sur ce tirage.

L'air chaud qui s'écoule par la cheminée et le jet de vapeur qui est lancé dans cette cheminée donnent lieu à un vide partiel dans la boîte à fumée, ou, en d'autres termes, à une différence de pression entre cette boîte à fumée et l'atmosphère.

Cette différence de pression est nécessaire pour vaincre les résistances que l'air éprouve à se mouvoir, résistances qui se manifestent surtout à son passage à travers le combustible et à travers les tubes.

Ces résistances croissent rapidement avec la vitesse de l'air et avec la longueur de son parcours; il est donc évident qu'elles seront d'autant plus grandes, que la couche de combustible qui recouvre la grille sera plus épaisse et que les tubes seront plus longs, de plus petit diamètre et en moins grand nombre.

On peut considérer le tirage dû à la cheminée comme constant dans toutes les circonstances; il dépend de la hauteur et du diamètre de cette cheminée, ainsi que de la température moyenne des gaz qui la traversent. En marche, il est peu important, comparé à celui qui est dû au jet de vapeur.

Le jet de vapeur lancé dans la cheminée produit un appel d'air très-énergique, mais éminemment variable.

Pour une même machine, cet appel croît avec le nombre de coups de piston, par conséquent avec la vitesse et avec la pression moyenne de la vapeur qui s'échappe, à l'instant où elle pénètre dans la cheminée.

Nous avons vu précédemment comment cette pression varie

Avec la pression dans la chaudière;

Avec la durée de l'admission;

Avec l'ouverture du régulateur;

Avec la durée de la détente;

Avec l'ouverture de la tuyère.

Elle est donc intimement liée avec les résistances à vaincre, et l'on sait en effet:

Que le tirage dû à l'échappement est d'autant plus grand

que la vitesse et l'effort de traction sont plus considérables[1].

Difficultés pour arriver à l'équation du travail moteur et du travail résistant. — Si donc nous pouvions exprimer en langage mathématique la loi qui régit ces influences, nous pourrions aborder le problème suivant :

Quelle vitesse une machine locomotive déterminée prendra-t-elle sur une portion de ligne dont la courbure et la pente sont connues en remorquant un train donné; l'ouverture du régulateur et le degré de la détente étant également déterminés?

L'inconnue serait la vitesse.

Après avoir calculé, comme nous l'avons indiqué, la vitesse que prendrait la machine si la production de vapeur était indéfinie, on déterminerait le poids de vapeur dépensé, lequel se déduirait des circonstances de la distribution et de la pression de la vapeur à la fin de la période de l'admission.

Puis on calculerait, comme nous venons de l'indiquer, la quantité de vapeur produite dans les circonstances données.

Cette quantité de vapeur pourrait être égale, supérieure ou inférieure à la dépense trouvée ci-dessus.

Si elle était égale, la vitesse trouvée serait non-seulement possible, mais encore celle de laquelle on tirerait le meilleur parti de la machine pour le degré de détente considéré.

Si la production était supérieure à la dépense, il en résulterait une perte de vapeur pour les soupapes de sûreté; la solution serait encore possible, mais elle cesserait d'être avantageuse.

Il faudrait recommencer les calculs en augmentant progressivement l'ouverture de l'échappement, ou, si celui-ci était déjà ouvert au maximum, celle du régulateur, et l'on obtiendrait, dans l'un et

[1] Ainsi, quand une machine gravit une rampe, sa vitesse diminue ; mais l'effort de traction augmente, ainsi que la pression de la vapeur à l'échappement, et la production de vapeur n'est pas sensiblement altérée.

Quand, par contre, cette machine descend une pente d'une grande longueur, son mouvement s'accélère ; mais on devra presque toujours par prudence modérer cette vitesse en fermant plus ou moins le régulateur ou en détendant davantage ; la pression à l'échappement diminuera avec la résistance à vaincre, et il arrivera fréquemment que cette pression sera insuffisante pour faire conserver à la combustion l'activité nécessaire. Aussi voit-on en général la pression de la chaudière baisser brusquement quand, après avoir descendu une forte pente d'une grande longueur, on arrive tout à coup sur une portion de ligne où les résistances sont très-considérables.

l'autre cas, une vitesse supérieure à celle que l'on avait déterminée d'abord.

Si enfin la dépense excédait la production, la pression dans la chaudière baisserait; la vitesse trouvée ne pourrait donc se maintenir pour conserver le même degré de détente et tirer de la machine un bon parti; il faudrait, ou serrer l'échappement, ou diminuer l'ouverture du régulateur.

Influence de l'adhérence sur la charge traînée par la locomotive. — Il est un dernier élément dont il faudrait tenir compte dans un calcul de ce genre. Si l'effort de traction, calculé comme nous venons de le voir, était plus considérable que le frottement de glissement des roues motrices sur les rails, la machine tournerait sur place, elle *patinerait*. Ce frottement de glissement varie de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{10}$ de la pression qu'exercent les roues motrices sur les rails, suivant que ces rails sont secs ou gras; on admet en moyenne $\frac{1}{6}$. *L'effort de traction devra donc être moindre que la sixième partie du poids supporté par les roues motrices.*

Par tout ce qui précède, on a pu voir combien il serait difficile de soumettre au calcul les questions qui se rattachent au travail des machines locomotives.

Formules de M. de Pambour. — A une époque où ces machines étaient encore loin d'avoir atteint le degré de perfection auquel elles sont arrivées aujourd'hui, M. de Pambour a publié un travail fort intéressant sur le sujet qui nous occupe. Les expériences qui ont servi de base aux calculs de ce savant datent de 1834 et de 1836; elles ont été faites sur les machines qui desservaient, à cette époque, la ligne de Liverpool à Manchester.

Dans ces machines, la distribution de la vapeur se faisait au moyen d'excentriques à embrayage, l'avance était négligeable et l'ouverture de l'échappement ne variait pas.

M. de Pambour n'avait donc pas à s'occuper des effets de la détente, de la compression et de l'échappement variable; affranchi de ces complications, il a pu établir des formules assez simples, qui représentent approximativement les faits qu'il a observés.

Insuffisance de ces formules. — Depuis la publication des travaux de M. de Pambour, les machines locomotives ont subi des modi-

fications telles, que ces formules ne sont plus susceptibles d'applications pratiques ; aussi nous abstiendrons-nous de les donner ici.

M. Lechâtelier, ingénieur des mines, dans une séance de la Société des ingénieurs civils, a proposé un certain nombre de règles pratiques pour déterminer les dimensions des principaux organes des machines locomotives. Ces règles sont déduites de la comparaison d'un grand nombre des meilleures machines anglaises et françaises, et d'expériences faites sur les machines, par MM. Gouin et Lechatelier en 1844, Gooch en 1847, et Bertera en 1850.

Influence de l'ouverture du régulateur sur la résistance. — Avant d'exposer les règles formulées par M. Lechatelier, nous croyons devoir analyser succinctement les résultats de ces expériences, dont les détails les plus intéressants ont été publiés dans le *Guide du mécanicien conducteur et constructeur de locomotives*, de MM. Lechatelier, Flachat, Petiet et Polonceau, et faire connaître les résultats d'expériences plus récentes, faites par MM. Polonceau et Kinnear Clark.

EXPÉRIENCES DIVERSES AYANT POUR OBJET DE DÉTERMINER LE TRAVAIL MOTEUR ET LE TRAVAIL RÉSISTANT.

Expériences de MM. Gouin, Lechatelier, Gooch, Bertera.

La pression de la vapeur dans les cylindres étant très-variable et différant, dans la plupart des cas, beaucoup de celle de la chaudière, il importait de déterminer directement cette pression dans les diverses circonstances de la machine. A cet effet, les expérimentateurs ont tracé, au moyen de l'indicateur de Watt, un grand nombre de diagrammes [1].

[1] L'indicateur de Watt se compose d'un cylindre de petit diamètre dans lequel se meut un piston métallique très-juste, mais en même temps très-libre. L'une des faces de ce piston est pressée par un petit ressort à boudin qui se raccourcit de quantités proportionnelles aux pressions que reçoit l'autre face du piston. Cette autre face est soumise à l'action de la vapeur dont on veut mesurer la tension ; à cet effet, le cylindre de l'indicateur peut être mis en communication avec le cylindre de la machine, avec la boîte à tiroir, avec la chaudière ou avec l'atmosphère, au moyen de tuyaux et de robinets. L'indicateur est fixé horizontalement au-dessus du tablier de la machine et perpendiculairement au grand axe de cette machine ; la tige de son piston porte un petit porte-crayon articulé. Le papier sur lequel le porte-crayon doit tracer les courbes qui

Les expériences de MM. Gouin et Lechatelier ont été faites sur la machine la *Gironde*, à détente fixe, obtenue par avance et recouvrement ; celles de M. Gooch, sur la *Great-Britain*, machine à grande vitesse du chemin à large voie de Londres à Bristol. Cette machine se rapproche beaucoup, quant à ses dispositions, du type Sharp-Roberts ; la distribution y est effectuée par une coulisse Stephenson. M. Bertera a opéré sur une machine à voyageurs, à longs tubes et petit foyer, de Stephenson, et sur une machine à marchandises à deux roues couplées, construite par M. Polonceau. Cette dernière machine est surtout remarquable par sa distribution à coulisse, qui permet une détente très-prolongée.

Ces pertes de pression sont dues, comme nous l'avons vu précédemment, à diverses causes. Celles qui résultent de la plus ou moins grande ouverture du régulateur ont été étudiées par MM. Gouin et Lechatelier, sur la machine la *Gironde*. Pour cette machine, marchant à la vitesse moyenne de 45 kilomètres à l'heure, le niveau de l'eau étant maintenu très-élevé dans la chaudière, le rapport entre les pressions absolues de la vapeur dans les boîtes à tiroir et la chaudière était :

Pour une ouverture du régulateur	de 15 cent. carrés	de	0,64
—	de 25	—	de 0,80
—	de 35	—	de 0,90
—	de 55	—	de 0,951

Au delà de 55 cent. carrés, le rapport cessait de croître.

Dans cette machine, la détente fixe est obtenue par une avance angulaire de 38° et par un recouvrement extérieur de $0^m,030$; les lumières se découvrent toujours complétement. Aussi la différence de pression entre la boîte à tiroir et les cylindres est-elle faible. La moyenne de 22 expériences, faites à des vitesses qui diffèrent peu

représentent le mode d'action de la vapeur est collé sur une planchette fixée au moyen d'une forte barre de fer à la crosse du piston. Ainsi la feuille de papier exécute le même mouvement que le piston. Quand l'indicateur est mis en communication avec l'atmosphère, le crayon ne bouge pas, et il trace par conséquent une ligne droite sur le papier. Mais, si la vapeur vient agir sur le piston de l'indicateur, le crayon se déplace d'une quantité proportionnelle à la pression de cette vapeur, et trace une courbe dont les abscisses représentent les positions du piston, et les ordonnées les pressions correspondantes de la vapeur. Ces courbes s'appellent des *diagrammes*.

de 47 kilomètres à l'heure, le niveau étant maintenu élevé dans la chaudière, donne 0,908 pour rapport entre les pressions absolues dans les cylindres et dans les boîtes à tiroir.

Le régulateur étant ouvert de 55 centimètres carrés, on aurait donc pour rapport entre la pression dans les cylindres et dans la chaudière :

$$0,951 \times 0,908 = 0,863.$$

La perte totale serait de 0,137, dont $\frac{1}{3}$ pour le passage du régulateur et $\frac{2}{3}$ pour celui des lumières.

Influence de la quantité d'eau entraînée. — Dans une expérience dans laquelle l'eau entraînée avec la vapeur était en très-grande quantité, puisqu'elle sortait en abondance par la cheminée, la perte totale a été de 0,38.

Avec de la vapeur très-sèche, par contre, elle n'a été que de 0,09 à 0,10.

Ainsi, suivant que la quantité d'eau entraînée a été plus ou moins grande, la perte de pression entre la chaudière et les cylindres a varié de 0,38 à 0,09 de la pression absolue de la vapeur dans la chaudière.

Cet exemple démontre suffisamment l'utilité des dispositions qui s'opposent à l'entraînement de l'eau par la vapeur.

Influence de la détente opérée par la diminution de la course du tiroir. — Quand les machines sont munies de l'appareil de détente que nous avons décrit sous le nom de coulisse de Stephenson, la différence de pression entre la boîte à tiroir et le cylindre croît rapidement à mesure que l'on détend davantage. Cela tient à ce que, pour les fortes détentes, le tiroir ne découvre plus les lumières que de quelques millimètres. Les expériences de M. Bertera fournissent à cet égard des renseignements précieux, consignés dans le tableau suivant, que nous extrayons du *Guide du mécanicien*.

NOMBRE DES DIAGRAMMES TRACÉS.	DÉTENTE.			VITESSES MOYENNES EN KILOMÈTRES à l'heure.	PRESSIONS ABSOLUES (EN KILOGRAMMES par centimètre carré).				
	Cran de détente.	Admission en centièmes de la course.	Ouverture maximum des lumières.		(a) Chaudière.	(b) Boîte des tiroirs.	(c) Cylindres.	Rapports	
								$\frac{c}{a}$	$\frac{c}{b}$
			mètr.						
Machine à marchandises, n° 154 (Polonceau).									
3	9	0,17	0,005	26,6	6,21	5,86	3,22	0,52	0,59
16	8	0,23	0,006	25,2	5,98	5,23	3,37	0,56	0,64
6	7	0,30	0,007	31,4	5,94	5,38	3,92	0,66	0,73
Machine à voyageurs, n° 62 (Stephenson).									
24	8	0,34	0,009	40,6	6,80	6,10	3,40	0,50	0,56
4	7	0,43	0,011	42,4	6,87	5,84	3,17	0,46	0,54

Contre-pression de la vapeur pendant la marche rétrograde du piston. — Les résultats les plus saillants des expériences sur la pression résistante de la vapeur, ou contre-pression opposée à la pression motrice, sont contenus dans le tableau de la page 684, que nous empruntons également au *Guide du mécanicien*.

Plus loin, nous verrons comment M. Camille Polonceau a déterminé l'influence qu'exercent sur cette pression résistante l'échappement, la compression et la marche à contre-vapeur.

NOMBRE DE DIAGRAMMES RELEVÉS.	ADMISSION EN CENTIÈMES de la course.	COMPRESSION EN CENTIÈMES de la course.	OUVERTURE MAXIMA des lumières. Admission.	OUVERTURE MAXIMA des lumières. Échappement.	VITESSE MOYENNE en kilomètres à l'heure.	PRESSIONS ABSOLUES EN KILOG. par cent. carré. Minima pendant l'admission.	PRESSIONS Maxima pendant l'échappement.	PRESSIONS Moyenne motrice.	PRESSIONS Moyenne résistante.	RAPPORT des moyennes.	OBSERVATIONS.
					kil.	kil.	kil.	kil.	m.	m.	
					Machine à détente fixe (la Gironde).						Expériences de MM. Gouin et Lechatelier.
50	0,67	0,22	0,030	0,030	41,44	4,27	1,70	4,11	2,06	0,50	Recouvrement intérieur.. 0m,020
13	0,67	0,11	0,030	0,030	54,62	»	»	4,94	2,34	0,47	id. 0 ,005
					Machine Great-Britain (large voie).						Expériences de M. Gooch.
29	»	»	»	»	32,08	3,02	1,03	2,59	1,20	0,46	Les éléments de
18	»	»	»	»	69,19	5,27	1,33	4,15	1,60	0,39	la distribution ne
19	»	»	»	»	93,66	6,49	1,83	5,19	2,12	0,40	sont pas donnés
					Machine à marchandises, n° 154 (Polonceau).						Expériences de M. Bertera (chemin d'Orléans).
3	0,17	0,50	0,005	0,025	26,6	3,22	1,20	2,14	1,48	0,69	
13	0,23	0,40	0,006	0,026	25,6	3,38	1,30	2,36	1,59	0,67	
6	0,30	0,35	0,007	0,027	21,4	3,92	1,35	2,90	1,63	0,56	
Moyenne	»	»	»	»	21,5	3,51	1,30	3,48	1,55	0,64	
					Machine à voyageurs, n° 62 (Stephenson).						Expériences de M. Bertera.
21	0,34	0,25	0,009	»	46,9	3,32	1,71	2,95	1,89	0,61	
4	0,43	0,16	0,011	»	42,4	3,17	1,70	2,98	1,94	0,65	
Moyenne	»	»	»	»	41,1	3,29	1,71	2,95	1,90	0,64	

Les pressions moyennes motrice et résistante ont été obtenues en divisant les travaux moteur et résistant par la course du piston. Ces travaux ont pu être mesurés avec une grande exactitude sur les diagrammes. La pression motrice moyenne tient compte de l'admission de la détente et de l'échappement anticipé ; la pression résistante moyenne de l'échappement, de la compression et de la marche à contre-vapeur.

Si maintenant nous comparons les résultats consignés dans les deux tableaux qui précèdent, de manière à faire ressortir l'influence

du mode de distribution, nous obtenons les chiffres suivants :

PRESSIONS EN KILOGRAMMES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ.	MACHINE	
	POLONCEAU n° 154.	LA GIRONDE.
Dans la chaudière	5,98	6
Dans les boîtes à tiroir	5,23	»
Dans les cylindres, pendant l'admission.	3,37	»
Moyenne motrice	2,36	5,23
Moyenne effective	0,77	2,61
Rapport de la moyenne effective à la pression dans la chaudière	13 p. 0/0	43 p. 0/0

Ce tableau fait voir que, pour les machines munies de la coulisse Stephenson, la pression dans la chaudière doit être aussi élevée que possible et les dimensions des cylindres considérables pour qu'elles marchent dans des conditions avantageuses.

Effets de l'échappement variable. — En diminuant la section de l'orifice du tuyau d'échappement on augmente la contre-pression ; mais il n'existe pas de données expérimentales bien précises qui permettent de mesurer l'effet produit.

Vide dans les boîtes. — Quant au degré de vide produit dans le foyer et dans la boîte à fumée, il résulte d'expériences faites au chemin d'Orléans, sur une machine Stephenson, à petit foyer et à tubes d'une grande longueur :

1° Que le vide qui existe dans le foyer est, en moyenne, égal à 0,55 du vide constaté dans la boîte à fumée. La résistance qu'éprouve l'air en traversant la grille et le combustible serait donc à celle qu'il éprouve en traversant les tubes dans le rapport de 55 à 45;

2° Que, toutes les autres conditions restant les mêmes, le vide serait représenté par les nombres 1; 1,5; 3, suivant que l'échappement serait entièrement ouvert, à moitié ouvert, ou fermé;

3° Que le vide, mesuré au moyen d'un manomètre à eau dans la boîte à fumée, était :

Un maximum de $0^m,208$, l'échappement étant entièrement fermé et l'admission se faisant pendant les 0,34 de la course.

Toutes ces expériences ont été faites à des vitesses qui variaient de 40 à 50 kilomètres à l'heure et avec des trains légers.

Nous nous dispensons de consigner ici les autres résultats de ces expériences, qui sont détaillés dans le *Guide du mécanicien.*

Au chemin de fer du Nord, des expériences analogues, faites à des vitesses de 55 à 60 kilomètres et avec des trains plus lourds, ont donné 0,67 pour rapport entre le vide du foyer et celui de la boîte à fumée.

Cette différence tient probablement à ce que les exigences du service auront forcé à donner une grande épaisseur à la couche de combustible contenue dans le foyer.

Eau entraînée et vapeur condensée dans les conduits et cylindres. — Une grande partie de l'eau consommée par les machines locomotives est entraînée mécaniquement par la vapeur sans avoir été vaporisée, et une grande partie de la vapeur formée est condensée dans les cylindres et conduits de la machine sans autre effet utile que celui de réchauffer ces appareils, qui se refroidissent à chaque coup de piston pendant les périodes de détente et d'échappement.

La consommation totale d'eau est facile à mesurer; elle s'obtient par un jaugeage du tender avant et après l'expérience. Quant au poids de la *vapeur utilisée*, le seul moyen de l'obtenir d'une manière un peu certaine consiste à déterminer son volume et sa densité à l'instant où cesse la période d'admission. Ces données se relèvent directement sur les diagrammes obtenus à l'aide de l'indicateur de Watt.

Nous ne détaillerons pas ici les résultats d'expériences que l'on possède sur ce sujet; on les trouvera dans le *Guide du mécanicien.* Nous dirons seulement que :

1° Sur la machine la *Gironde*, admettant la vapeur pendant les 0,66 de la course, le rapport moyen du poids de la vapeur utilisée à celui de l'eau dépensée a été trouvé égal à 0,82;

2° Sur la machine Polonceau, n° 154, du chemin d'Orléans, admettant pendant les 0,25 de la course, le même rapport a été de 0,48.

Ainsi, sous ce rapport, les fortes détentes paraissent avoir un désavantage notable sur les admissions prolongées. Cela deviendra encore plus évident quand nous aurons dit que, dans la première machine, l'arête supérieure du corps cylindrique de la chaudière est élevée de $0^m,32$ seulement au-dessus du ciel du foyer, tandis que, dans la seconde, elle l'est de $0^m,45$.

Expériences de M. C. Polonceau.

Mode d'expérimentation. — Ces expériences sur les effets de la vapeur dans les machines locomotives ont été faites au moyen de l'indicateur de pression de Watt monté sur le cylindre même des machines servant aux essais.

Le piston de cet indicateur recevant la vapeur envoyée au cylindre de la locomotive dans des conditions de pression que l'on peut considérer comme identiques, les *diagrammes* fournis par l'appareil expriment bien la pression exercée sur le piston de la locomotive pendant les différentes périodes de sa course dans le cylindre.

Les diagrammes qui donnent la mesure du travail de la vapeur pendant les différentes périodes de travail ont été relevés en très-grand nombre; c'est en en prenant les moyennes que l'on a dressé les tableaux d'expériences que nous donnons, et en comparant ces moyennes que l'on est parvenu à en déduire d'importantes conséquences.

Machines essayées. — La distribution dans toutes les machines soumises par M. Polonceau aux expériences, sur le chemin d'Orléans, s'opérait à l'aide de la coulisse de Stephenson. Ces machines ont été les suivantes :

1° Machine à voyageurs n° 94 (ancien 136), avec cylindre de $0^m,38$ sans enveloppe; ateliers Gouin et Cie, modifiée aux ateliers d'Ivry par M. C. Polonceau.

2° Machine à voyageurs n° 93 (ancien 135), avec cylindre de

$0^m,38$ muni d'une enveloppe; ateliers Gouin et Cie, modifiée aux ateliers d'Ivry par le même ingénieur.

3° Machine à marchandises n° 404 (ancien 47 P. O.), tiroir d'échappement indépendant des tiroirs d'introduction; modifiée aux ateliers d'Ivry par M. C. Polonceau.

4° Machine express n° 268, avec cylindre de $0^m,40$; construite aux ateliers d'Ivry par M. C. Polonceau.

5° Machine à marchandises n° 736 (ancien 550), avec cylindre de $0^m,42$; construite aux ateliers d'Ivry par M. C. Polonceau.

MACHINE A VOYAGEURS DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS N° 94 (ANCIEN 136), CONSTRUITE DANS LES ATELIERS DE M. GOUIN.

La distribution de la vapeur sur les pistons se fait à la machine 94 au moyen de la coulisse Stephenson. Les cylindres sont ordinaires, c'est-à-dire sans enveloppes.

L'angle d'avance est de 33° pour la marche en avant et pour la marche en arrière.

Le rayon d'excentricité est de 57 millimètres et demi;

Le recouvrement extérieur est de 36 millimètres du côté de la traverse;

Le recouvrement extérieur est de 33 millimètres et demi du côté du mouvement;

Le recouvrement intérieur total est de 9 millimètres;

La course du piston est de $0^m,560$;

Le diamètre du piston est de $0^m,380$;

Le diamètre des roues motrices est de $1^m,654$.

Résultats des essais.

	Tension absolue de la vapeur dans la chaudière, en atmosphères.	Tension absolue moyenne de la vapeur sur le piston pendant l'admission, en atmosph.	Rapport entre ces deux tensions, celle de la chaudière étant prise pour unité.	Tension absolue de la vapeur au commencement de l'échappement, en atmosphères.	Vitesse du piston.	Vitesse correspondante de la machine sur la voie, en kilomètres, à l'heure.	Rapports. $\frac{b}{a}$	$\frac{c}{a}$	$\frac{d}{a}$	$\frac{e}{a}$	$\frac{f}{a}$	Travail mécanique développé sur un côté du piston, en kilogrammètres.	Force en chevaux sur les pistons pour la machine entière et par tour de roue.
Admission, 0,25 de la course. Avance, 0,002. Ouverture maximum, 0,00525. Avance à l'échappement, 0,21 de la course. Compression, 0,42 de la course.													
Moyenne.	6 53	4 76	0 73	1 89	2 24	37	0 47	0 50	0 18	0 02	0 79	2427	129
Admission, 0,33 de la course. Avance, 0,00175. Ouverture maximum, 0,00675. Avance à l'échappement, 0,175 de la course. Compression, 0,36 de la course.													
Moyenne.	6 46	5 03	0 78	2 29	2 18	37	0 51	0 45	0 10	0 02	0 86	3215	171
Admission, 0,42 de la course. Avance, 0,0015. Ouverture maximum, 0,00875. Avance à l'échappement, 0,138 de la course. Compression, 0,30 de la course.													
Moyenne.	6 60	5 41	0 82	2 75	2 15	36	0 57	0 41	0 06	0 01	0 92	1893	261
Admission, 0,51 de la course. Avance, 0,001. Ouverture maximum, 0,01125. Avance à l'échappement, 0,107 de la course. Compression, 0,25 de la course.													
Moyenne.	6 19	5 32	0 86	3 20	2 01	34	0 63	0 35	0 03	0 006	0 96	4554	245
Admission, 0,59 de la course. Avance, 0,00. Ouverture maximum, 0,0145. Avance à l'échappement, 0,09 de la course. Compression, 0,20 de la course.													
Moyenne.	6 37	5 86	0 92	3 60	1 62	27	0 69	0 30	0 02	0 005	0 97	4252	225
Admission, 0,66 de la course. Retard, 0,0005. Ouverture maximum, 0,018. Avance à l'échappement, 0,066 de la course. Compression, 0,17 de la course.													
Moyenne.	6 40	6 14	0 96	3 00	1 40	24	0 71	0 28	0 01	0 002	0 98	4116	219

Nota. — Dans ces différents tableaux :
a exprime le travail par course, en supposant qu'il n'y ait ni compression ni avance à l'échappement.
b exprime le travail pendant l'admission par course, en supposant qu'il n'y ait ni compression ni avance à l'échappement.
c exprime le travail de la détente par course, en ne tenant compte ni du travail résistant de la compression ni de l'avance à l'échappement.
d exprime le travail résistant provenant de la compression pendant une course.
e exprime le travail de détente perdu par l'avance à l'échappement pendant une course.
f exprime le travail utilisé.

Admission. — *Pendant le temps de l'admission, la tension de la vapeur sur le piston n'atteint pas celle de la chaudière, et la différence est d'autant plus sensible que la vitesse du piston est plus grande et que la lumière d'introduction est moins découverte.*

Ainsi, dans la première position (correspondant au maximum de détente), la lumière n'a pour ouverture maximum que 5 millimètres un quart, et la pression de la vapeur sur le piston (celui-ci étant animé d'une vitesse de $2^m,24$ par seconde) n'est que des $\frac{73}{100}$ de celle de la chaudière, tandis que dans la troisième position, où l'ouverture maximum est de 8 millimètres trois quarts, on obtient avec la même vitesse jusqu'à $\frac{82}{100}$ de la tension de la chaudière. Le rétrécissement des ouvertures d'admission exerce donc une influence fâcheuse sur la pression dans le cylindre.

Lorsque la vitesse du piston ne dépasse pas 1 mètre, l'équilibre entre le piston et la chaudière s'établit à très-peu de chose près.

Dans le cours des expériences, le régulateur était toujours complétement ouvert et sa section d'introduction était de 110 centimètres carrés ou les $\frac{9}{100}$ de la surface du piston.

On remarque sur les diagrammes que, au moment où le piston recommence sa course, la tension de la vapeur n'atteint pas immédiatement son maximum ; cela tient à ce que la vapeur qui s'introduit, très-étranglée à ce moment, n'agit sur le piston à sa tension maximum que lorsqu'elle a achevé de remplir, à cette tension, les lumières d'introduction, ce que la compression avait commencé de faire.

Détente. — La détente, lorsqu'elle commence au quart de la course, comme dans la première position, donne plus de travail que l'admission, et sa tension au moment de l'échappement est encore suffisante pour qu'elle se précipite dans l'atmosphère, puisqu'elle possède à ce moment 0,89 d'atmosphère. (On suppose dans ce cas que la pression dans la chaudière se trouve comprise entre six et sept atmosphères.)

Le tableau ci-dessous indique les rendements de la détente aux différents degrés d'admission, le travail de la vapeur pendant l'admission étant pris pour unité.

POSITIONS.	1re	2e	3e	4e	5e	6e
Admission en centièmes.	0 25	0 33	0 42	0 51	0 59	0 66
Détente en centièmes.	0 75	0 67	0 58	0 49	0 41	0 34
Travail pendant la détente, rapporté au travail pendant l'admission.	1 05	0 83	0 72	0 53	0 43	0 40

Un travail à produire étant donné, on voit, d'après les résultats ci-dessus, qu'il est très-avantageux de l'obtenir en donnant au cylindre un diamètre tel qu'une détente au quart de course soit praticable, la détente ayant lieu ainsi pendant les 3/4 de la course.

Les chiffres consignés dans le tableau ci-dessus expriment la valeur de la détente obtenue sur les diagrammes et sont seulement applicables à la distribution de la machine n° 94, car, d'après la nature de cette distribution, la détente est non-seulement fournie par le volume de vapeur engendré par le piston pendant l'admission, mais bien par ce volume augmenté de celui de la lumière et du jeu du piston au plateau du cylindre ; par conséquent, si l'on veut obtenir la détente fournie par un volume V de vapeur, il faut multiplier les résultats ci-dessus par le rapport $\frac{V}{V+V'}$ [1].

V le volume engendré par le piston,

V' = le volume de la lumière et du jeu de piston au plateau.

Les chiffres ci-dessus sont modifiés ainsi qu'il suit :

1re	position	0.35	au lieu de	0.40
2e	—	0.36	—	0.43
3e	—	0.44	—	0.53
4e	—	0.58	—	0.72
5e	—	0.63	—	0.83
6e	—	0.75	—	1.05

Avance à l'échappement. — La perte occasionnée par l'avance

[1] $V + V' : 0,40 :: V : x$

$$x = \frac{V}{V+V'} \times 0,40.$$

à l'échappement a été obtenue en prolongeant la ligne de détente jusqu'à la fin de la course du piston; à l'inspection des diagrammes, on s'aperçoit que cette perte est peu considérable, et cela se conçoit, car, à ce point de la course du piston, la vapeur ne s'écoulant pas instantanément, il se produit encore sur le piston une certaine pression. *Ainsi l'on voit que dans une distribution on peut varier l'avance à l'échappement dans des conditions assez larges, sans que pour cela le rendement de la vapeur en soit sensiblement altéré.*

Contre-pression. — D'après les résultats obtenus, on voit que le piston, dans sa marche rétrograde, n'est soumis à aucune contre-pression, lorsque l'échappement dans la boîte à fumée est complétement ouvert. Il n'en a été trouvé de traces qu'avec une admission de $\frac{58}{100}$ de la course, et, dans ce cas, la vapeur s'échappe avec une tension d'au moins trois atmosphères; encore son effet, qui est très-peu nuisible, cesse-t-il environ aux $\frac{18}{100}$ de la course.

La section de sortie, lorsque l'échappement de la cheminée est ouvert au maximum, est de 127 centimètres carrés, soit les $\frac{58}{100}$ de la surface du piston, et de 55 centimètres carrés, soit les $\frac{11}{100}$ de la surface du piston lorsqu'il est ouvert au minimum. Dans ce dernier cas, la contre-pression absorbe une grande partie de la puissance.

L'échappement de la machine 94 est un échappement Lasalle; il se compose de deux cônes disposés de telle manière, que la section de sortie présente une surface annulaire qui diminue au fur et à mesure que le cône mobile s'enfonce dans le cône fixe.

Le grand diamètre de la surface annulaire est de 206 millimètres.

Nous avons vu que la compression produisait un travail résistant qui diminue la puissance de la machine; mais que, d'un autre côté, elle avait pour résultat une économie sensible de vapeur, et, par suite, de combustible, en tant qu'elle remplissait l'espace nuisible et les lumières de vapeur à une pression différant peu de celle de la boîte à vapeur. Nous avons vu aussi que, la compression étant plus grande qu'il ne le fallait pour qu'elle remplît l'espace nuisible et les

lumières, il en résultait un excès de travail résistant sans compensation sensible[1].

Calculant le travail résistant provenant de la compression pour remplir l'espace nuisible et les lumières de vapeur à la pression de quatre atmosphères seulement (tension mesurée), on trouve que cet excès de compression, et, par suite, de travail résistant, se manifeste dans la machine 94, mais dans une petite mesure. S'il est aussi peu considérable, cela tient au grand volume des lumières. Sa compression est donc, dans ce cas, en partie du moins, le palliatif d'une imperfection, le volume exagéré des lumières, et, si cette imperfection disparaissait, c'est-à-dire si le volume des lumières était considérablement diminué, la compression deviendrait beaucoup plus nuisible, ce qui conduirait à la réduire.

Or le volume des lumières peut-il être diminué sans causer de préjudice? Dans la distribution dont on s'occupe, les lumières ont 40 millimètres de largeur. Cette dimension est plus que suffisante pour les admissions, puisque, pour la sixième position, le tiroir ne découvre au maximum que de 18 millimètres. Cette dimension de 40 millimètres ne pourrait donc être utile que pour l'échappement, afin de permettre un écoulement suffisant pour éviter la contre-pression.

Or on a vu dans l'article concernant l'échappement qu'une section de 127 centimètres carrés ne donne pas de contre-pression,

[1] Cet excès de compression peut avoir pour résultat d'élever la pression dans l'espace nuisible au même degré que dans la chaudière. Dans ce cas, cette pression, dépassant celle de la vapeur dans la boîte à vapeur, tend à soulever le tiroir et à refouler la vapeur dans la boîte au moment où la lumière d'admission commence à se découvrir, ce qui nuit au jeu de la machine. Prolongée encore davantage, la compression ne peut élever la pression dans l'espace nuisible au delà de celle dans la chaudière; car, d'après une loi de la physique, la vapeur ayant atteint la pression sous laquelle elle s'est formée, sa tension cesse d'augmenter et elle se condense. Le nouvel excès de compression n'a donc pour résultat que d'augmenter la condensation. Cette condensation dans la période de compression est sans inconvénient, puisqu'elle a pour résultat d'échauffer les parois du cylindre, y compris les fonds et le piston, qu'elle remplace la condensation pendant l'admission, et que l'eau condensée se reproduit en vapeur en totalité ou en partie, soit pendant l'admission (la pression de la vapeur dans cette période étant inférieure à celle de la vapeur comprimée), soit pendant la détente. Elle aurait même, à ce point de vue, un avantage : celui de réchauffer le cylindre aux dépens de la vapeur déjà utilisée, au lieu de le réchauffer aux dépens de la vapeur sortant de la chaudière; mais elle a pour inconvénient de diminuer outre mesure la puissance de la machine.

tandis qu'une section de 55 centimètres carrés, lorsque l'échappement est fermé, en donne une notable, d'où on peut conclure que la limite de section où la contre-pression commence est comprise entre 127 et 55, limite que l'on pourrait déterminer, pour en déduire la largeur des lumières.

On remarque sur les diagrammes que pour une même position de levier, quelle que soit la tension de la vapeur dans la chaudière, la valeur de la compression reste à peu près constante.

D'après ce qui précède, les dispositions des cylindres de la machine 94 étant données, on voit que, le volume des lumières étant réduit, il y aurait avantage à diminuer le temps de la compression, résultat qu'on obtiendrait en diminuant le recouvrement intérieur.

MACHINE A VOYAGEURS DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS N° 93 (ANCIEN 135), CONSTRUITE DANS LES ATELIERS DE M. GOUIN. — APPLICATION DU CYLINDRE A ENVELOPPE PAR M. POLONCEAU, EN 1852. — LES PLATEAUX D'AVANT ET D'ARRIÈRE N'ONT PAS D'ENVELOPPE DE VAPEUR.

La machine 93 est pourvue de cylindre à enveloppe. La vapeur s'introduit dans cette enveloppe par un tuyau qui a sa prise de vapeur dans la boîte à tiroirs. Le but qu'on s'est proposé par cette disposition a été d'empêcher le refroidissement de la paroi intérieure du cylindre, et de diminuer la condensation de la vapeur de cette paroi.

La distribution de la vapeur se fait au moyen de la coulisse Stephenson.

L'angle d'avance est de 32° pour la marche en avant comme pour la marche en arrière.

La course de l'excentrique est de 0,115.

Le recouvrement extérieur total est de 0,064.

Le recouvrement intérieur est nul.

La course du piston est de 0,560.

Le diamètre du cylindre est de 0,400.

Le diamètre des roues motrices est de 1,690.

Résultats des essais.

	Tension absolue de la vapeur dans la chaudière, en atmosphères.	Tension absolue moyenne de la vapeur sur le piston pendant l'admission, en atmosph.	Rapport entre ces deux tensions, celle de la chaudière étant prise pour unité.	Tension absolue de la vapeur au commencement de l'échappement, en atmosphères.	Vitesse du piston.	Vitesse correspondante de la machine sur la voie, en kilomètres à l'heure.	Rapports $\frac{b}{a}$	$\frac{c}{a}$	$\frac{d}{a}$	$\frac{e}{a}$	$\frac{f}{a}$	Travail mécanique développé sur un côté du piston, en kilogrammètres.	Force en chevaux sur les pistons pour la machine entière et par tour de roue.
	Admission, 0,18 de la course. Avance, 0,003. Ouverture maximum, 0,00475. Avance à l'échappement, 0,33 de la course. Compression, 0,36 de la course												
Moyenne..	5 54	4 59	0 83	1 65	2 38	40	0 47	0 52	0 39	0 00	0 60	1382	74
	Admission, 0,30 de la course. Avance, 0,00225. Ouverture maximum, 0,00725. Avance à l'échappement, 0,24 de la course. Compression, 0,28 de la course.												
Moyenne..	5 37	4 56	0 85	1 92	2 39	40	0 51	0 43	0 19	0 01	0 77	2588	138
	Admission, 0,42 de la course. Avance, 0,00175. Ouverture maximum, 0,00925. Avance à l'échappement, 0,18 de la course. Compression, 0,22 de la course.												
Moyenne..	5 20	4 43	0 85	2 18	2 69	45	0 64	0 36	0 09	0 01	0 87	3740	199
	Admission, 0,32 de la course. Avance, 0,00125. Ouverture maximum, 0,015. Avance à l'échappement, 0,14 de la course. Compression, 0,18 de la course.												
Moyenne..	5 04	4 45	0 88	2 78	2 28	39	0 66	0 31	0 05	0 04	0 95	4095	218

Admission. — Dans la machine n° 93, la tension moyenne sur le piston, pendant l'admission, atteint :

Pour une admission de $\frac{18}{100}$ de la course du piston, les $\frac{82}{100}$ de la tension de la chaudière;

Pour une admission de $\frac{30}{100}$ de la course du piston, les $\frac{85}{100}$ de la tension de la chaudière;

Pour une admission de $\frac{42}{100}$ de la course du piston, les $\frac{85}{100}$ de la tension de la chaudière.

Ces rapports pour la machine 93 approchent plus de l'unité, représentant la tension dans la chaudière, que pour la machine 94, quoique les avances linéaires des tiroirs soient à peu près les mêmes.

Cette différence provient de ce que la machine 93 a une enveloppe de vapeur autour des cylindres; d'où il résulte que, le refroidissement des parois intérieures étant presque totalement supprimé, la quantité de vapeur condensée pendant l'admission est moindre que dans la machine 94.

On voit par les diagrammes que la tension de la vapeur dans le cylindre varie pendant l'introduction, pour la machine 93 comme pour la machine 94, avec l'ouverture des lumières et la vitesse du piston.

Détente. — Le travail de détente de la vapeur, dans la position du levier qui correspond à une admission de $\frac{17}{100}$ de course, est un peu plus grand que celui de la vapeur pendant l'admission. Quand on admet les $\frac{30}{100}$, il est un peu moindre; et, comme ces deux positions sont celles dont on se sert habituellement pour les charges appliquées à ces machines, on peut en conclure que, dans la machine 93, la détente fournit autant de travail que l'admission. Le résultat étant le même pour la machine 94, il en résulterait que l'enveloppe des cylindres a fort peu d'influence sur la détente de la vapeur.

En examinant ce qui doit se produire dans le cylindre, on est conduit à ce raisonnement.

Indépendamment de la vapeur comme gaz, il se produit, pendant la détente, une vaporisation instantanée[1]. En effet, l'eau entraînée et condensée pendant l'admission possède une température correspondante à la tension de la vapeur pendant cette admission. Cette tension, diminuant au fur et à mesure de la détente, permet à l'eau de se vaporiser, et, vu la multiplicité des coups de piston, l'excédant de température entre les cylindres à enveloppe et ceux sans enveloppe ne doit pas être tel qu'il se produise une différence appréciable dans les deux résultats.

Avance à l'échappement. — Dans la machine dont on s'occupe, le recouvrement intérieur a été complétement supprimé; en conséquence, l'avance à l'échappement prend de très-fortes proportions.

[1] Cela peut être vrai avec une enveloppe autour des cylindres seulement; mais, quand les fonds sont enveloppés aussi bien que le corps cylindrique, la condensation devient nulle, et par conséquent la vaporisation, pendant la détente, le devient également.

Ainsi, dans la première position, où la détente est poussée le plus loin, elle commence aux $\frac{33}{100}$ de la course du piston, et par cette position la perte qu'elle occasionne n'est même pas appréciable, ainsi qu'on le voit sur les diagrammes et en se reportant au tableau ci-dessus.

Dans la deuxième position, où elle commence aux $\frac{24}{100}$ de la course, le préjudice qu'elle cause n'est que de $\frac{4}{100}$ de la force expansive de la vapeur.

Ces résultats s'expliquent par le peu de tension qu'a la vapeur au moment où la lumière d'échappement s'ouvre; et, comme le volume de vapeur à écouler est considérable, cette vapeur agit encore sur le piston, même après le commencement de l'ouverture de la lumière d'échappement.

Contre-pression. — La contre-pression est complétement nulle; elle n'a lieu que lorsque l'échappement dans la boîte à fumée est à son minimum d'ouverture.

Cette nullité absolue de la contre-pression pendant l'échappement, au premier abord, a lieu d'étonner. Elle est réelle cependant toutes les fois que l'orifice d'échappement est à son maximum d'ouverture et que l'on marche avec une certaine détente. Nous l'avons constatée dans plusieurs expériences que nous avons faites en commun sur le chemin d'Orléans avec M. Thomas, professeur à l'École centrale des arts et manufactures. Elle résulte aussi d'un certain nombre de diagrammes relevés par M. Clark sur des machines anglaises. Le tirage n'a lieu, par conséquent, que pendant la période d'échappement *anticipé*, période pendant laquelle la vapeur déjà fortement détendue descend à une pression peu différente de celle de l'atmosphère. Mais, comme l'échappement anticipé n'a pas lieu en même temps pour les deux cylindres, c'est tantôt la vapeur sortant de l'un des cylindres, tantôt celle sortant de l'autre cylindre, qui met en mouvement l'air de la cheminée et qui produit l'appel. — Pour de moins fortes détentes, la vapeur, ayant conservé, au moment où le piston change de direction, une plus forte tension, les diagrammes accusent une contre-pression plus ou moins sensible, et qui se prolonge pendant un temps plus ou moins long. Pour ne laisser aucun doute sur ce résultat, nous avons supprimé l'action de l'un des cylindres,

et nous avons trouvé que, les machines marchant avec un seul cylindre avec une grande détente, la contre-pression même à des vitesses faibles était sensible, ce qui devait avoir lieu, puisque l'appel produit pendant la marche rétrograde du piston était supprimé.

Compression. — Par suite de la suppression du recouvrement intérieur, la compression, d'après les conditions actuelles de la distribution, a été diminuée autant que possible. Malgré cela, son effet est encore très-nuisible, car, dans la première position, le travail résistant qui en provient est les $\frac{30}{100}$ du travail total, et, dans la seconde position, les $\frac{10}{100}$. Comme on le voit, elle est beaucoup plus pernicieuse pour la machine 93 que pour la machine 94, bien qu'elle commence plus tôt dans cette dernière, en raison des 9 millimètres de recouvrement intérieur de sa distribution. Ceci tient aux effets de l'enveloppe. En effet, lorsque la compression commence, la vapeur (puisque la contre-pression est nulle) a une atmosphère de tension. Si, pendant que cette vapeur est comprimée, elle suivait la loi de Mariotte, elle arriverait (dans la première position de la machine 93, lorsque le piston est à bout de course) à une tension qui ne serait pas moindre de sept à huit atmosphères, ce qui n'a pas lieu; elle se condense donc, à mesure que sa tension augmente, en abandonnant sa chaleur latente aux parois du cylindre et du piston. Mais, comme dans la machine 93 les parois sont échauffées par la vapeur de l'enveloppe, la condensation est beaucoup moindre que dans la machine 94, ce qui explique les valeurs différentes de la compression pour ces deux machines.

Dans l'origine, la machine 93 avait aussi un recouvrement intérieur de 9 millimètres, d'où la compression était plus considérable qu'actuellement. Dans cette condition, la marche de la machine était excessivement gênée; il était impossible de marcher avec une admission de $\frac{18}{100}$ et même de $\frac{30}{100}$. Il fallait alors admettre pendant les $\frac{42}{100}$, de manière à diminuer notablement la compression et à régler la marche par l'ouverture du régulateur. Mais on conçoit qu'avec un pareil procédé on ne jouissait que très-peu de l'avantage de la détente, et la consommation du combustible en était beaucoup augmentée. On a ensuite réduit le recouvrement intérieur à 4 milli-

mètres; alors il y a eu amélioration; puis, en dernier lieu, on l'a complétement supprimé, et l'amélioration n'a fait que croître.

En résumé, on peut conclure que, la distribution de la vapeur se faisant par la coulisse et devant obtenir une détente telle, que l'admission soit de $\frac{20}{100}$ à $\frac{30}{100}$ de course du piston, l'enveloppe est plutôt nuisible qu'utile, puisque ses avantages se réduisent à une petite augmentation de pression sur le piston, et que la compression a lieu dans une plus grande proportion.

Il n'en serait pas de même pour une distribution comme celle de la machine 404, où l'admission est indépendante de l'échappement, et où, par conséquent, on peut modifier la compression à volonté. Dans ce cas, on peut obtenir les avantages de l'enveloppe et éviter ses effets nuisibles.

Dans l'emploi de l'enveloppe, on craignait, en principe, qu'elle ne communiquât aux cylindres une température telle, que les pistons, qui sont animés d'une assez grande vitesse dans les machines locomotives, ne vinssent à gripper. L'expérience a prouvé que ces craintes n'étaient pas fondées, et les pistons de la machine 93 n'ont jamais plus souffert que ceux des machines à cylindres simples.

MACHINE A MARCHANDISES DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS, N° 404 (ANCIEN 47), CONSTRUITE PAR STEPHENSON EN 1843. — MODIFIÉE EN 1849 PAR M. POLONCEAU POUR L'APPLICATION D'UNE DISTRIBUTION AVEC DEUX TIROIRS INDÉPENDANTS.

La distribution de la machine 404 se fait au moyen de deux tiroirs : l'un pour l'admission, l'autre pour l'échappement (disposition décrite page 564).

Le tiroir d'admission est commandé par une coulisse double, et celui d'échappement par des pieds de biche placés sur les mêmes barres d'excentrique.

Au moyen de cette disposition, la compression et l'avance à l'échappement restent constantes, quel que soit le degré de détente qu'on veuille obtenir.

L'angle d'avance est de 35° pour la marche en avant et celle en arrière.

Le rayon d'excentricité est de 63 millimètres.

Le recouvrement extérieur total est de 61 millimètres.
La course des pistons est de 510 millimètres.
Le diamètre des cylindres est de 400 millimètres.
Le diamètre des roues motrices est de $1^{m},365$.

Résultats des essais.

	Tension absolue de la vapeur dans la chaudière, en atmosphères.	Tension absolue moyenne de la vapeur sur le piston pendant l'admission, en atmosph.	Rapport entre ces deux tensions, celle de la chaudière étant prise pour unité.	Tension absolue de la vapeur au commencement de l'échappement, en atmosphères.	Vitesse du piston.	Vitesse correspondante de la machine sur la voie, en kilomètres, à l'heure.	Rapports. $\frac{b}{a}$	$\frac{c}{a}$	$\frac{d}{a}$	$\frac{e}{a}$	$\frac{f}{a}$	Travail mécanique développé sur un côté du piston, en kilogrammètres.	Force en chevaux sur les pistons pour la machine entière, et par tour de roue.
	Admission, 0,36 de la course. Avance, 0,004. Ouverture maximum, 0,009. Avance à l'échappement, 0,040. Compression, 0,040.												
Moyenne.	4 52	4 34	0 96	2 07	1 41	27	0 49	0 50	0 011	0 00	0 98	2253	119
	Admission, 0,45 de la course. Avance, 0,0035. Ouverture maximum, 0,012. Avance à l'échappement, 0,040. Compression, 0,040.												
Moyenne.	4 46	4 32	0 97	2 45	1 36	25	0 56	0 45	0 01	0 00	0 98	2178	116
	Admission, 0,53 de la course. Avance, 0,0035. Ouverture maximum, 0,015. Avance à l'échappement, 0,040. Compression, 0,040.												
Moyenne.	4 32	4 15	0 95	2 68	1 36	25	0 60	0 39	0 01	0 00	0 98	2390	128
	Admission, 0,60 de la course. Avance, 0,0025. Ouverture maximum, 0,0175. Avance à l'échappement, 0,040. Compression, 0,040.												
Moyenne.	4 42	4 28	0 97	2 86	1 30	24	0 67	0 32	0 012	0 00	0 98	2390	128
	Admission, 0,66 de la course. Avance, 0,0015. Ouverture maximum, 0,021. Avance à l'échappement, 0,040. Compression, 0,040.												
Moyenne.	4 50	4 41	0 98	3 05	1 17	22	0 74	0 25	0 01	0 00	0 98	2250	120
	Admission, 0,72 de la course. Avance, 0,001. Ouverture maximum, 0,0255. Avance à l'échappement, 0,040. Compression, 0,010.												
Moyenne.	4 67	4 57	0 98	3 35	1 25	28	0 77	0 25	0 01	0 00	0 98	2437	130

Admission. — Pendant l'admission, la tension de la vapeur sur le piston atteint, pour toutes les positions du levier et à une vitesse de 2 mètres par seconde, les $\frac{96}{100}$ de la tension de la chaudière.

Cela tient à ce que les ouvertures maximum des lumières ne vont pas au-dessous de 9 millimètres, conséquence de l'avance linéaire du tiroir et du peu de détente qui a lieu d'après les dispositions de la distribution.

Dans le cas de la distribution de la machine 404, où la compression est constante, une grande avance du tiroir n'est pas nuisible, car son effet consiste à remplir le volume des lumières et donne, par conséquent, très-peu de résistance à la marche rétrograde du piston.

D'un autre côté, elle permet d'obtenir des ouvertures maximum telles, que la conséquence est presque l'établissement d'équilibre entre la chaudière et le piston.

Détente. — Dans la machine 404, la détente n'est poussée que jusqu'à 0,36 de la course du piston, et la tension de la vapeur à ce point, lorsque l'échappement commence, est encore de près de deux atmosphères.

La détente de la vapeur n'est donc pas complétement utilisée, et cette perte serait encore bien plus sensible si, au lieu de cinq atmosphères, timbre de la chaudière, ce chiffre était porté à huit, comme dans les nouvelles machines.

Avance à l'échappement. — L'admission étant indépendante de l'échappement, on a pu donner à celui-ci une avance qui ne dépasse pas 40 millimètres ou $\frac{7}{100}$ de la course du piston : c'est un avantage, car, *bien qu'on ait vu dans les machines précédentes que l'avance à l'échappement est peu nuisible, surtout lorsque la détente est poussée à sa limite, il est bon de ne pas négliger la suppression de cette perte lorsqu'il arrive, comme dans cette distribution, que cela n'entraîne à aucune conséquence fâcheuse.*

Contre-pression. — Bien que l'avance constante de l'échappement ne soit que de 40 millimètres ou $\frac{7}{100}$ de la course du piston, la contre-pression n'est sensible que dans les dernières positions du levier.

Il n'en est pas de même lorsque l'échappement dans la boite à

fumée est ouvert au minimum. Dans ce cas, le travail résistant de la contre-pression absorbe une partie notable du travail de la puissance.

Compression. — La compression est constante pour chaque position du levier; elle commence, comme l'avance à l'échappement, à $\frac{8}{100}$ de la course du piston.

L'examen des diagrammes indique clairement le peu d'importance de son effet nuisible, eu égard au travail résistant qu'elle fait naître, ou, en d'autres termes, à la puissance de la machine.

Les avantages de cette distribution consistent donc à réduire le travail résistant de la compression et aussi la perte par l'avance à l'échappement.

Il est à remarquer que l'effet nuisible de la compression avec une distribution ordinaire, à une admission de $\frac{36}{100}$ et avec des lumières comme celles qui existent, n'aurait pas été plus préjudiciable; d'où il résulte que cette nouvelle disposition de distribution n'a donné aucune amélioration, et cela parce que les différentes parties constituant la distribution ont été mal combinées.

MACHINE EXPRESS DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS, N° 268, CONSTRUITE AUX ATELIERS D'IVRY. — ÉTUDIÉE EN 1853 PAR M. C. POLONCEAU.

La distribution de la vapeur sur les pistons se fait, dans la machine 268, au moyen de la coulisse Stephenson.

L'angle d'avance est de 30° pour la marche en avant.

L'angle d'avance est de 30° pour la marche en arrière.

La course des excentriques est de 120 millimètres.

Le recouvrement extérieur total est de 60 millimètres.

Le recouvrement intérieur est de 4 millimètres.

La course des pistons est de 600 millimètres.

Le diamètre des cylindres est de 400 millimètres.

Le diamètre des roues motrices est de 2^m,010.

Résultats des essais.

	TENSION ABSOLUE DE LA VAPEUR DANS LA CHAUDIÈRE, EN ATMOSPHÈRES.	TENSION ABSOLUE MOYENNE DE LA VAPEUR SUR LE PISTON PENDANT L'ADMISSION, EN ATMOSPH.	RAPPORT ENTRE CES DEUX TENSIONS, CELLE DE LA CHAUDIÈRE ÉTANT PRISE POUR UNITÉ.	TENSION ABSOLUE DE LA VAPEUR AU COMMENCEMENT DE L'ÉCHAPPEMENT, EN ATMOSPHÈRES.	VITESSE DU PISTON.	VITESSE CORRESPONDANTE DE LA MACHINE SUR LA VOIE, EN KILOMÈTRES, A L'HEURE.	RAPPORTS. $\frac{b}{a}$	$\frac{c}{a}$	$\frac{d}{a}$	$\frac{e}{a}$	$\frac{f}{a}$	TRAVAIL MÉCANIQUE DÉVELOPPÉ, SUR UN CÔTÉ DU PISTON, EN KILOGRAMMÈTRES.	FORCE EN CHEVAUX SUR LES PISTONS POUR LA MACHINE ENTIÈRE ET PAR TOUR DE ROUE.
Admission, 0,18 de la course. Avance, 0,0055. Ouverture maximum, 0.0065. Avance à l'échappement, 0.30 de la course. Compression, 0,41 de la course.													
Moyenne..	7 33	6 74	0 92	2 44	2 00	38	0 38	0 58	0 25	0 02	0 72	3179	169
Admission, 0,24 de la course. Avance, 0,0055. Ouverture maximum, 0,0075. Avance à l'échappement, 0, 25 de la course. Compression, 0,35 de la course.													
Moyenne..	7 35	6 69	0 91	2 68	1 90	36	0 45	0 53	0 18	0 01	0 79	3658	195
Admission, 0,33 de la course. Avance, 0,0055. Ouverture maximum, 0,009. Avance à l'échappement, 0,20 de la course. Compression, 0,31 de course.													
Moyenne..	7 02	6 46	0 92	2 95	1 94	36	0 51	0 46	0 12	0 01	0 84	4230	226
Admission, 0,42 de la course. Avance, 0,0055. Ouverture maximum, 0,0115. Avance à l'échappement, 0,17 de la course. Compression, 0,26 de la course.													
Moyenne..	6 96	6 33	0 91	3 16	1 63	31	0 58	0 39	0 09	0 01	0 89	4467	238

Admission. — On voit, d'après le tableau qui précède, que la pression moyenne de la vapeur sur les pistons, pendant l'admission, approche de la pression de la chaudière.

Ainsi, pour la première position ou admission de $\frac{18}{100}$, elle est de $\frac{92}{100}$.

Ainsi, pour la deuxième position ou admission de $\frac{24}{100}$, elle est de $\frac{91}{100}$.

Ainsi, pour la troisième position ou admission de $\frac{33}{100}$, elle est de $\frac{92}{100}$.

Pour chaque position du levier ces rapports sont à peu près

égaux, parce que, d'après la disposition même de la distribution, les avances du tiroir restent constantes. Ainsi, dans ce système de machine, lorsqu'on change le degré d'admission, c'est le coulisseau qui commande la tige du tiroir, tandis que, dans les machines 93 et 94, la coulisse elle-même joue ce rôle, et, dans ce cas, suivant que les barres d'excentriques sont croisées ou non, l'avance du tiroir va en diminuant ou en augmentant, à mesure qu'on détend davantage.

Dans la machine 268, la commande du coulisseau de secteur est combinée de telle manière, que, quel que soit le degré de détente, les avances ne changent pas sensiblement.

L'avance linéaire du tiroir (avance à contre-vapeur) pour la machine 268 étant de 5 millimètres et demi, le piston, dans sa course rétrograde, est forcé de refouler la vapeur pendant que le tiroir parcourt cette avance. C'est une résistance qui s'ajoute à celle de la compression. Cette résistance est fâcheuse surtout au moment du démarrage. La vapeur comprimée dans l'espace nuisible par la compression suffit d'ailleurs pour faciliter la marche du piston au moment du changement de direction. Il y a donc intérêt à diminuer cette avance linéaire. On y parvient en modifiant l'angle de calage de manière à obtenir seulement 2 millimètres et demi à 3 millimètres d'avance linéaire; on évite suffisamment avec cette avance le retard qui a lieu par suite de l'usure des pièces, et l'ouverture maximum de la lumière n'en est que légèrement modifiée.

Détente. — La détente, dans la machine n° 268, joue un grand rôle par suite de la tension élevée de la vapeur dans la chaudière. Cette machine est timbrée à huit atmosphères.

Le tableau précédent indique que la détente, pour une admission de $\frac{18}{100}$ de la course du piston, s'élève à une valeur de $\frac{58}{100}$ de la force expansive totale, tandis que l'admission ne compte que pour les $\frac{39}{100}$.

Il est donc très-avantageux de marcher à haute pression et à grande détente.

Dans les conditions de détente de la machine 268, la vapeur a encore, au moment où l'échappement commence, une tension de une atmosphère et demie de plus que la pression atmosphérique, ce

qui est bien suffisant pour obtenir un tirage et une activité de combustion convenables.

Avance à l'échappement. — L'avance à l'échappement, n'agissant que sur de la vapeur à une faible tension, n'exerce, dans la machine 268 comme dans les précédentes, qu'une influence peu sensible sur la pression motrice.

Contre-pression. — Il n'a été trouvé aucune trace de contre-pression.

Compression. — La compression dans la machine 268, avec la distribution indiquée ci-devant, donne lieu à un grand travail résistant; elle absorbe les $\frac{23}{100}$ du travail de la vapeur pour une admission de $\frac{18}{100}$; et pour celle de $\frac{24}{100}$ les $\frac{18}{100}$. La première de ces deux positions est celle dont on se sert le plus pour le service auquel ces machines sont affectées.

On se trouve ainsi conduit à diminuer la compression autant que possible. A cet effet, on a supprimé totalement le recouvrement intérieur, ce qui a modifié les valeurs de l'avance à l'échappement et de la compression ainsi qu'il suit :

POSITIONS DU LEVIER.		4e	3e	2e.	1re
Avance à l'échappement, en centièmes de course..	0 16	0 19	0 23	0 28	0 33
Compression, en centièmes de course.. .	0 20	0 24	0 27	0 33	0 37

D'après de nouveaux diagrammes obtenus avec cette modification à la distribution, on a trouvé les résultats consignés dans le tableau ci-après, où l'on remarque que les effets nuisibles de la compression ont été diminués, mais pas autant qu'il serait à désirer, la présence de la coulisse créant des impossibilités.

La marche de la machine a été toutefois améliorée et un cran de détente plus élevé a été jugé nécessaire.

L'admission à ce nouveau cran est de $\frac{13}{100}$.

La machine n° 270, à laquelle on a supprimé aussi le recouvre-

ment intérieur, a éprouvé une amélioration notable qui lui permet de marcher à une détente plus prononcée, ce qui n'était pas possible avant la modification.

MÊME MACHINE 268. — DISTRIBUTION MODIFIÉE, RECOUVREMENT INTÉRIEUR SUPPRIMÉ.

Résultats des essais.

	TENSION ABSOLUE DE LA VAPEUR DANS LA CHAUDIÈRE, EN ATMOSPHÈRES.	TENSION ABSOLUE MOYENNE DE LA VAPEUR SUR LE PISTON PENDANT L'ADMISSION, EN ATMOSPH.	RAPPORT ENTRE CES DEUX TENSIONS, CELLE DE LA CHAUDIÈRE ÉTANT PRISE POUR UNITÉ.	TENSION ABSOLUE DE LA VAPEUR AU COMMENCEMENT DE L'ÉCHAPPEMENT, EN ATMOSPHÈRES.	VITESSE DU PISTON.	VITESSE CORRESPONDANTE DE LA MACHINE SUR LA VOIE, EN KILOMÈTRES, A L'HEURE	RAPPORTS. $\frac{b}{a}$	$\frac{c}{a}$	$\frac{d}{a}$	$\frac{e}{a}$	$\frac{f}{a}$	TRAVAIL MÉCANIQUE DÉVELOPPÉ SUR UN CÔTÉ DU PISTON, EN KILOGRAMMÈTRES	FORCE EN CHEVAUX SUR LES PISTONS POUR LA MACHINE ENTIÈRE ET PAR TOUR DE ROUE.
	Admission, 0,18 de la course. Avance, 0,055. Ouverture maximum, 0,0065. Avance à l'échappement, 0,33 de la course. Compression, 0,37 de la course.												
Moyenne.	7 32	6 24	0 92	2 37	1 95	37	0 39	0 58	0 21	0 015	0 76	3086	164
	Admission, 0,24 de la course. Avance, 0,0055. Ouverture maximum, 0,0075. Avance à l'échappement, 0,28 de la course. Compression, 0,33 de la course.												
Moyenne.	7 11	6 32	0 80	2 52	1 98	37	0 44	0 53	0 16	0 02	0 81	3627	193
	Admission, 0,38 de la course. Avance, 0,0055. Ouverture maximum, 0,009. Avance à l'échappement, 0,23 de la course. Compression, 0,27 de la course.												
Moyenne.	7 18	6 17	0 86	2 77	2 16	41	0 51	0 47	0 13	0 01	0 85	4651	248
	Admission, 0,42 de la course. Avance, 0,0065. Ouverture maximum, 0,0115. Avance à l'échappement, 0,19 de la course. Compression, 0,24 de la course.												
Moyenne.	6 80	6 52	0 89	2 93	1 92	36	0 56	0 41	0 11	0 01	0 89	4728	252

MACHINE A MARCHANDISES DE LA COMPAGNIE D'ORLÉANS, N° 736 (ANCIEN 550), CONSTRUITE AUX ATELIERS D'IVRY. — CYLINDRES ORDINAIRES DE 0,420 DE DIAMÈTRE. — ÉTUDIÉE EN 1854 PAR M. C. POLONCEAU.

La distribution de la vapeur sur les pistons se fait, dans la machine 736, au moyen de la coulisse Stephenson.

Les cylindres sont ordinaires, c'est-à-dire sans enveloppe.

La course de l'excentrique est de 120 millimètres.

L'angle d'avance pour la marche en avant et pour la marche en arrière est de 30°, correspondant à 30 millimètres d'avance à l'excentrique.

Le recouvrement extérieur total est de 60 millimètres.

Le recouvrement intérieur total est de 4 millimètres.

La course du piston est de 650 millimètres.

Le diamètre des cylindres est de 420 millimètres.

Le diamètre des roues motrices au contact est de $1^m,335$, et le développement donne : $3.14 \times 1.335 = 4^m,255$.

Résultats des essais.

	Tension absolue de la vapeur dans la chaudière, en atmosphères.	Tension absolue moyenne de la vapeur sur le piston pendant l'admission, en atmosphères.	Rapport entre ces deux tensions, celle de la chaudière étant prise pour unité.	Tension absolue de la vapeur au commencement de l'échappement, en atmosphères.	Vitesse du piston.	Vitesse correspondante de la machine sur la voie, en kilomètres, à l'heure.	Rapports. $\frac{b}{a}$	$\frac{c}{a}$	$\frac{d}{a}$	$\frac{e}{a}$	$\frac{f}{a}$	Travail mécanique développé sur un côté du piston, en kilogrammètres.	Force en chevaux sur les pistons pour la machine entière et par tour de roue.
	Admission, 0,22 de la course. Avance, 0,006. Ouverture maximum, 0,007. Avance à l'échappement, 0,29 de la course. Compression, 0,38 de la course.												
Moyenne..	6,87	5,28	0,77	1,86	2,34	28	0,48	0,50	0,40	0,00	0,58	2559	156
	Admission, 0,30 de la course. Avance, 0,006. Ouverture maximum, 0,008. Avance à l'échappement, 0,23 de la course. Compression, 0,33 de la course.												
Moyenne..	7,01	5,82	0,83	2,35	2,60	21	0,52	0,46	0,20	0,00	0,78	3901	208
	Admission, 0,37 de la course. Avance, 0,006. Ouverture maximum, 0,010. Avance à l'échappement, 0,19 de la course. Compression, 0,28 de la course.												
Moyenne..	6,77	6,02	0,89	2,50	1,85	22	0,58	0,39	0,15	0,01	0,85	4485	239
	Admission, 0,44 de la course. Avance, 0,006. Ouverture maximum, 0,011. Avance à l'échappement, 0,16 de la course. Compression, 0,25 de la course.												
Moyenne..	6,85	6,30	0,92	2,93	1,85	22	0,57	0,42	0,11	0,01	0,87	5738	307

Admission. — Pendant le temps de l'admission, la tension de la vapeur dans les cylindres n'atteint pas celle de la chaudière, et la différence est d'autant plus sensible que la lumière d'introduction est moins découverte.

Ainsi, pour $\frac{22}{100}$ d'admission, la pression moyenne sur le piston est de 0.77 de celle dans la chaudière.

Ainsi, pour $\frac{30}{100}$ d'admission, la pression moyenne sur le piston est de 0.83 de celle dans la chaudière.

Ainsi, pour $\frac{37}{100}$ d'admission, la pression moyenne sur le piston est de 0.89 de celle dans la chaudière.

Ainsi, pour $\frac{44}{100}$ d'admission, la pression moyenne sur le piston est de 0.92 de celle dans la chaudière.

Dans ce système de machines, la coulisse est fixe ; c'est le coulisseau qui déplace le tiroir, et, quel que soit le cran de la détente, les avances restent constantes.

Le volume de vapeur introduit avec 6 millimètres d'avance à l'admission se trouve refoulé avec la vapeur comprimée dans la marche rétrograde du piston.

En effet, lorsque la compression a lieu, la vapeur se condense au fur et à mesure que la tension augmente, en abandonnant sa chaleur latente aux parois du cylindre et au piston, qui se mettent en équilibre de température; il en résulte plus ou moins de condensation, suivant que le volume de vapeur qui s'introduit depuis le commencement de la course jusqu'à la fin de l'admission est moindre ou plus considérable, et que la vitesse du piston est plus ou moins grande.

Quand le piston a une vitesse de $2^m,56$ par seconde, correspondant à 28 kilomètres de vitesse normale sur la voie, la pression moyenne sur les pistons est les 0.80 de celle de la chaudière, et pour des admissions de 30, 37 et $\frac{44}{100}$ cette différence décroît au fur et à mesure que la vitesse diminue.

Même observation pour cette machine que pour celles 93 et 94, sur la variation de la tension de la vapeur pendant l'introduction.

On remarque sur les diagrammes relevés au démarrage que la compression est accusée par une courbe concave S. Cela tient à ce que, les cylindres étant froids, la vapeur comprimée arrive promp-

tement à fournir aux parois du cylindre le maximum de chaleur latente dont elle peut se dépouiller, et, quoique la compression continue, la tension n'augmentant pas, il s'ensuit qu'elle ne croît pas proportionnellement au chemin parcouru par le piston. Il y a condensation.

Quand on est en vitesse, l'introduction souvent répétée de la vapeur conserve aux cylindres une température voisine de celle de la vapeur introduite ; au moment de la compression, la vapeur se dépouille fort peu de sa chaleur latente, et par suite la tension croît presque proportionnellement au chemin parcouru : on obtient alors une courbe convexe.

Détente. — D'après le tableau qui précède, le travail de la vapeur, lorsque la détente commence aux $\frac{22}{100}$ de la course, est un peu plus grand dans la période de détente que dans celle d'admission, et la tension de la vapeur au commencement de l'échappement est encore suffisante pour se précipiter dans l'atmosphère, puisqu'elle possède alors en moyenne $0^{a},85$ atmosphères (la tension absolue de la vapeur dans la chaudière étant de sept atmosphères).

Pour une admission de $\frac{30}{100}$, le travail pendant l'admission est un peu plus grand que pendant la détente, et, comme ces deux positions sont celles dont on se sert habituellement dans la marche, on peut conclure que le travail de la détente est sensiblement égal au travail pendant l'admission.

Le tableau suivant indique les rendements de la détente aux différents degrés d'admission, la force expansive de la vapeur pendant l'admission étant prise pour unité.

POSITIONS.	4e	3e	2e	1re
Admission en centièmes.	0 44	0 37	0 30	0 22
Détente en centièmes.	0 56	0 63	0 70	0 78
Valeur de la force expansive de la vapeur pendant la détente, rapportée à la force expansive pendant l'admission prise pour unité.	Il n'a pas été relevé assez de diagrammes pour avoir une moyenne exacte.	0 67	0 89	1 04

On voit par les résultats ci-dessus que le diamètre des cylindres permet une détente de 78 p. 100.

Ces résultats sont ceux obtenus sur les diagrammes, et la détente est non-seulement fournie par le volume de vapeur engendré par le piston pendant l'admission, mais bien par ce volume augmenté de celui de la lumière et du jeu du piston au plateau du cylindre; conséquemment, si on veut obtenir la détente fournie par un volume V de vapeur, on a :

$$V + V' : \begin{Bmatrix} 0.67 \\ 0.89 \\ 1.04 \end{Bmatrix} :: V : x, \text{ d'où } x = \frac{V}{V + V'} \times \begin{Bmatrix} 0.67 \\ 0.89 \\ 1.04 \end{Bmatrix}$$

V étant le volume engendré par le piston,

V' le volume du jeu et de la lumière.

Les chiffres ci-dessus sont modifiés comme suit :

4ᵉ position				
3ᵉ	—	0.58	au lieu de	0.67.
2ᵉ	—	0.74	—	0.89.
1ʳᵉ	—	0.81	—	1.04.

Avance à l'échappement. — L'avance à l'échappement, n'agissant que sur de la vapeur à une faible tension, ne produit qu'une faible perte, quel que soit le degré d'admission. Cette perte se traduit, pour une admission de $\frac{44}{100}$, par 0.01 du travail total.

On peut donc varier cette avance dans des proportions assez larges sans que le rendement de la détente en soit affecté.

Contre-pression. — Le recouvrement intérieur prolongeant la détente, la vapeur se trouve dépouillée de presque toute sa force élastique au moment où commence l'échappement anticipé. Il en résulte qu'elle ne peut s'échapper dans l'atmosphère, et que la quantité foulée par le piston dans la marche rétrograde en est augmentée, ce qui produit un accroissement de la compression, soit de la résistance due à la compression, qui d'ailleurs est assez prolongée par le fait du recouvrement intérieur.

Compression. — La compression, d'après la distribution de la machine 736, forme donc une grande résistance. Pour une admission de $\frac{22}{100}$, elle absorbe les 0.40 du travail de la vapeur, et pour une admission de 0.30, les 0.20.

Voulant diminuer cette résistance excessive, on a été conduit supprimer totalement le recouvrement intérieur ; de nouveaux di grammes ont été relevés sur la machine après cette modific tion.

Le tableau ci-dessous renferme les résultats de ces calculs et d montre les avantages obtenus.

MÊME MACHINE 736 (ANCIEN 550). — DISTRIBUTION MODIFIÉE.

Résultats des essais.

	TENSION ABSOLUE DE LA VAPEUR DANS LA CHAUDIÈRE, EN ATMOSPHÈRES.	TENSION ABSOLUE MOYENNE DE LA VAPEUR SUR LE PISTON, PENDANT L'ADMISSION, EN ATMOSPH.	RAPPORT ENTRE CES DEUX TENSIONS, CELLE DE LA CHAUDIÈRE ÉTANT PRISE POUR UNITÉ.	TENSION ABSOLUE DE LA VAPEUR AU COMMENCEMENT DE L'ÉCHAPPEMENT, EN ATMOSPHÈRES.	VITESSE DU PISTON.	VITESSE CORRESPONDANTE DE LA MACHINE SUR LA VOIE, EN KILOMÈTRES, A L'HEURE.	RAPPORTS.					TRAVAIL MÉCANIQUE DÉVELOPPÉ SUR UN CÔTÉ DU PISTON, EN KILOGRAMMÈTRES.	FORCE EN CHEVAUX SUR LES PISTONS POUR LA MACHINE ENTIÈRE ET PAR TOUR DE ROUE.
							$\frac{b}{a}$	$\frac{c}{a}$	$\frac{d}{a}$	$\frac{e}{a}$	$\frac{f}{a}$		
Admission, 0,22 de la course. Avance, 0,006. Ouverture maximum, 0,007. Avance a l'échappement, 0,31 de la course. Compression, 0,36 de la course.													
Moyenne.	6 91	5 94	0 86	2 30	1 81	22	0 44	0 54	0 21	0 01	0 77	3145	168
Admission, 0,30 de la course. Avance, 0,006. Ouverture maximum, 0,008. Avance à l'échappement, 0,25 de la course. Compression, 0,31 de la course.													
Moyenne.	6 90	6 14	0 89	2 63	1 81	21	0 49	0 48	0 14	0 015	0 83	4459	237
Admission, 0,37 de la course. Avance, 0,006. Ouverture maximum, 0,010. Avance à l'échappement, 0,21 de la course. Compressiou, 0,26 de la course.													
Moyenne.	7 00	6 51	0 93	3 04	1 66	19	0 54	0 44	0 11	0 02	0 86	5051	269
Admission, 0,44 de la course. Avance, 0,006. Ouverture maximum, 0,011. Avance à l'échappement, 0,18 de la course. Compression, 0,23 de la course.													
Moyenne.	7 37	7 00	0 95	3 75	1 27	15	0 57	0 41	0 06	0 02	0 88	4896	260

En supprimant le recouvrement intérieur, les valeurs de la co pression et de l'avance à l'échappement ont été modifiées com suit :

POSITIONS.					4e	3e	2e	1re
Échappement.	0 08	0 09	0 13	0 15	0 18	0 21	0 25	0 31
Compression.	0 11	0 12	0 18	0 20	0 23	0 26	0 31	0.36

On voit, par le tableau qui précède, que la tension moyenne de la vapeur (pendant l'admission) sur les pistons se rapproche davantage de celle de la chaudière; ainsi, pour :

$\frac{22}{100}$ d'admission, le rapport entre ces deux tensions est les 0.86[1], au lieu de 0.77. Différence. 0.09

$\frac{30}{100}$ d'admission, le rapport entre ces deux tensions est les 0.89, au lieu de 0.83. Différence. 0.06

$\frac{37}{100}$ d'admission, le rapport entre ces deux tensions est les 0.93, au lieu de 0.89. Différence. 0.04

$\frac{44}{100}$ d'admission, le rapport entre ces deux tensions est les 0.95, au lieu de 0.91. Différence. 0.04

Ensemble. . . . 0.23

4

Moyenne. . . . 0.06

C'est une augmentation de puissance, dont l'effet moyen est représenté, pour les deux cylindres, par

$4 \times 0.06 \times 1.033 \times \pi \times 0.21^2 = 343$ kilogrammes par tour de roue.

Détente. — En examinant les diagrammes, on remarque que la tension de la vapeur se maintient beaucoup mieux pendant la durée de l'admission; la détente ayant lieu moins prématurément, il en résulte un travail qui se traduit, pour une admission de $\frac{22}{100}$, par les 0.54 du travail total. Or, ces machines étant timbrées à huit atmosphères, il y aura avantage à marcher à haute pression et à grande détente.

[1] Voir les tableaux des pages 707 et 711

RENDEMENT DE LA DÉTENTE, LE TRAVAIL DE LA VAPEUR PENDANT L'ADMISSION ÉTANT PRIS POUR UNITÉ.

POSITIONS.	4e	3e	2e	1re
Admission en centièmes	0 44	0 37	0 30	0 22
Détente en centièmes	0 56	0 63	0 70	0 78
Valeur du travail pendant la détente, rapporté au travail pendant l'admission pris pour unité.	0 71	0 81	0 97	1 25
Distribution non modifiée	»	0 67	0 89	1 04
Différence				0 21

On voit que pour une détente de 0.78 il y a 0.21 en plus du travail utilisé.

En calculant comme précédemment, les valeurs ressortant du tableau ci-dessus donnent :

Pour la 4e position 0.62 au lieu de 0.71;
— 3e — 0.69 — 0.81;
— 2e — 0.80 — 0.97;
— 1re — 0.97 — 1.25.

Avance à l'échappement. — L'avance à l'échappement prend d'assez larges proportions, puisque, pour $\frac{22}{100}$ d'admission, elle est les $\frac{31}{100}$ de la course du piston. Son effet, pour cette position, est peu appréciable; elle ne cause que le préjudice de 0.01 du travail total.

Pour $\frac{30}{100}$ d'admission, elle est les $\frac{25}{100}$ de la course du piston, et son effet nuisible n'est que de 0.015.

Ces résultats s'expliquent en observant que la tension de la vapeur au commencement de l'échappement étant encore en moyenne de 1,50 atmosphère, déduction faite de la pression atmosphérique, il en résulte que la vapeur agit encore sur les pistons, bien que la

lumière d'échappement soit découverte, le volume de vapeur à écouler étant considérable.

Contre-pression. — Il est évident, à l'inspection des diagrammes, que le piston n'est soumis à aucune contre-pression; il n'en a été trouvé de traces que lorsque l'échappement était à son minimum d'ouverture.

La section de l'échappement complétement ouvert est de 0^{m2},0187 ou les 0.15 de la surface du piston; complétement serré, il est de 0.0049 ou les 0.035.

Compression. — La compression a été notablement diminuée, puisque, dans la quatrième position, elle n'absorbe plus que les 0.21 du travail, au lieu de 0.40, et pour la troisième position 0.14, au lieu de 0.20.

COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS SUR LA MACHINE 736, AVANT ET APRÈS LA MODIFICATION DE LA DISTRIBUTION.

Résumé.

La suppression du recouvrement intérieur a notablement augmenté la puissance de la machine, puisque, pour :

La première position (correspondant à la plus faible admission), le travail utilisé est les 0.77[1] du travail total au lieu d'être les. 0.58

La deuxième position, le travail utilisé est les 0.85 du travail total au lieu d'être les. 0.78

La troisième position, le travail utilisé est les 0.86 du travail total au lieu d'être les. 0.85

La quatrième position, le travail utilisé est les 0.88 du travail total au lieu d'être les. 0.87

Ces différences vont en décroissant, parce que, évidemment, pour $\frac{54}{100}$ d'admission (quatrième position), la compression donne un travail résistant pour ainsi dire nul; tandis qu'il n'en est pas de même pour la première position ou admission de $\frac{22}{100}$, le travail résistant de la compression étant les 0.40 du travail total.

De plus, la contre-pression a été complétement supprimée, la

[1] Voir les tableaux des pages 707 et 711.

compression notablement diminuée, et, si on pouvait augmenter les ouvertures pour une même détente, il y aurait encore augmentation de puissance; mais, l'avance linéaire étant dépendante de l'ouverture, on se trouve en présence d'une impossibilité.

La marche néanmoins a été relevée d'un cran; on n'a pu obtenir que quelques diagrammes avec une vitesse de 2 mètres et $1^m,70$ au piston, donnant :

Une admission de 0.16,
Une détente de 0.84,
Une compression de 0.40,
Et un échappement de 0.55.

Considérations générales.

Recouvrement intérieur. — On voit, par ce qui précède, que les dispositions qui conviennent pour l'établissement d'une bonne distribution sur un système de machines ne sont pas toujours applicables indistinctement, pour arriver au même but, sur un autre système. Ainsi, par exemple, une machine timbrée à cinq ou six atmosphères, ayant des cylindres d'un diamètre assez faible, et obligée, pour obtenir une force de traction donnée, d'admettre pendant les $\frac{40}{100}$ à $\frac{50}{100}$ de la course du piston, aura évidemment de l'avantage à posséder de 10 à 12 millimètres de recouvrement intérieur, parce que cette disposition aura pour résultat de prolonger la détente qui n'était pas arrivée à sa limite, vu la longueur de l'admission, et que, d'un autre côté, la compression qui correspond à une admission de $\frac{40}{100}$ à $\frac{50}{100}$ étant faible, peut être augmentée sans devenir préjudiciable, et peut même devenir utile si le volume des lumières est considérable; donc, dans ce cas seulement, le recouvrement intérieur est nécessaire.

Mais il n'en serait pas de même si la machine, d'après le diamètre de ses cylindres et la tension élevée de la chaudière, n'était appelée à admettre que pendant les $\frac{20}{100}$ de course pour produire l'effet demandé, car, dans ce cas, le prolongement de la détente par le recouvrement intérieur donnerait un bénéfice presque nul, puisqu'il agirait sur de la vapeur déjà dépouillée de sa force élas-

tique, tandis qu'il augmenterait notablement la compression, qui, à $\frac{20}{100}$ d'admission, est fort considérable, surtout si le volume des lumières est faible; donc, dans ce dernier cas, le recouvrement intérieur est nuisible.

Il est donc impossible d'établir des règles fixes pour l'emploi du recouvrement intérieur; son absence ou sa présence doivent être jugés nécessaires d'après les conditions dans lesquelles on se trouve.

Avance linéaire du tiroir. — *L'avance à contre-vapeur ne peut non plus être fixée invariablement.*

Ainsi, dans la machine n° 404, elle n'est pas nuisible, parce que la compression est faible et qu'alors l'avance à contre-vapeur a pour mission le remplissage des lumières, tandis que dans les machines 268 et 736, où la compression opère ce remplissage, elle devient préjudiciable en déterminant le refoulement de la vapeur dans la chaudière par le piston et augmentant la résistance; il est donc nécessaire dans ce cas d'user de l'avance avec modération, et 5 millimètres et demi à 6 millimètres doivent être considérés comme un maximum. 2 ou 3 millimètres, 4 millimètres même, seraient suffisants pour le jeu des pièces et ne diminueraient pas sensiblement l'ouverture maximum des lumières.

Dans les machines où la coulisse se déplace et où l'avance diminue au fur et à mesure que l'admission augmente, lorsque, la manivelle motrice étant au point mort du côté opposé au mécanisme, les barres d'excentriques affectent une position simplement parallèle à l'axe du mouvement, on donne 4 ou 5 millimètres d'avance à contre-vapeur au plus fort cran de détente, parce que, les avances allant en diminuant, il arrive que, pour certaines positions, on obtient même du retard à l'admission; dans ce cas, l'avance de 4 ou 5 millimètres est motivée; mais il n'en est pas ainsi pour les machines 268 et 736, où la disposition même du mécanisme de distribution donne des avances constantes.

Emploi de deux tiroirs. — L'emploi de deux tiroirs, dont l'un pour l'admission et l'autre pour l'échappement (comme dans la machine 404), a pour objet de renfermer dans des limites convenables la perte par l'avance à l'échappement et celle par le travail résistant de la compression, tout en augmentant l'ouverture des

lumières. On a vu que la perte par l'avance à l'échappement, lorsque la détente est poussée à sa limite, était peu considérable, tandis que la compression correspondante au même degré de détente donne lieu à un grand travail résistant; c'est donc rapporté à ce dernier cas que doit être considéré l'avantage de cette distribution.

Dans l'application qu'on en a faite sur la machine 404, on a complétement manqué le but proposé. Le mécanisme de cette distribution ne permet de pousser la détente que jusqu'à $\frac{36}{100}$ de l'admission. Or, à ce degré de détente, la compression ne se fait que légèrement sentir; par conséquent on trouve peu d'avantage à les réduire. Il n'en serait pas de même si elle était appliquée sur les machines 268 et 756, où la détente est poussée jusqu'aux $\frac{18}{100}$ et même $\frac{13}{100}$ d'admission, et où la compression est si nuisible, comme il est indiqué dans les tableaux. Dans ce cas, on obtiendrait certainement une réduction de 10 à 15 p. 100 du travail résistant.

Enveloppe de vapeur. — L'emploi de l'enveloppe de vapeur enfin peut être nuisible si la compression proportionnelle à la détente est excessive, comme cela se présente souvent dans les machines ordinaires, système Stephenson, avec un seul tiroir. Mais, si l'on rend au moyen du double tiroir Polonceau ou de toute autre manière la durée de la compression indépendante de celle de la détente, il y a lieu de croire que l'on trouverait un avantage sensible dans l'emploi de l'enveloppe, pourvu néanmoins que cette enveloppe soit complète, c'est-à-dire pourvu qu'elle préservât les fonds du cylindre aussi bien que les parois du refroidissement. Il résulte en effet d'expériences faites par M. Thomas, professeur à l'école centrale, l'un de nos ingénieurs praticiens les plus savants et les plus habiles, que l'influence des fonds sur la condensation est plus grande que celle de la surface cylindrique polie.

« L'emploi de l'enveloppe, à la vérité, dit M Thomas dans le cours qu'il professe à l'École centrale, empêchant toute condensation sur les fonds et les parois du cylindre, n'annule pas la condensation sur le piston et sur sa tige, pièces difficiles à échauffer sans trop compliquer la machine. Mais cette perte de vapeur est à peine sensible quand on emploie une grande détente et que l'enveloppe est bien disposée.

« Outre l'économie de combustible, les enveloppes présentent l'avantage de faciliter la prompte mise en train des machines à marche intermittente ; en effet, lorsqu'on introduit la vapeur dans le cylindre refroidi d'une machine sans enveloppe, il s'en condense une telle quantité pendant les premiers coups, que, si l'on ne prenait pas quelques précautions, l'eau formée pourrait occasionner par son annulation la rupture du couvercle ou du fond. Une machine à enveloppe peut se mettre en train à toute vitesse, sans crainte d'accident, si l'on a maintenu la vapeur autour du cylindre pendant qu'elle était en repos, ou si l'on a soin de l'y faire arriver quelques minutes avant sa mise en marche. »

On pourrait croire qu'il est possible d'empêcher la condensation de la vapeur dans les cylindres en les enveloppant soigneusement et laissant une couche d'air intercalée dans le cylindre et l'enveloppe. Ce serait une grave erreur. La condensation produite par la surface intérieure des cylindres est beaucoup plus grande que celle qui résulte de la surface extérieure, et l'enveloppe de vapeur est le seul moyen de maintenir la surface intérieure à une température convenable.

Tel est en substance l'ensemble des expériences directes laissées par M. Polonceau sur les conditions d'établissement et de distribution les plus convenables à adopter dans la construction des machines locomotives.

Nous avons fait connaître précédemment le résultat des expériences faites par le même ingénieur pour déterminer l'influence du tracé et du matériel employé sur la résistance.

De ces études combinées il a déduit la valeur de l'effort par tonne d'une machine locomotive remorquant un train dans différentes conditions de tracé.

L'effort que la vapeur exerce sur les pistons étant connu par les expériences qui précèdent, l'on peut aisément se rendre compte du travail produit par la machine remorquant un train dont la vitesse et la charge sont données.

Cela posé, le dynamomètre agissant sur le train, mais ne rendant pas compte des résistances dues à la machine et au tender, accuse un certain effort qu'il est facile de convertir en un travail

correspondant; la différence entre les chiffres exprimant ces travaux fait ressortir la part afférente à la traction de la machine et du tender, et comprend les résistances dues à leur poids et aux frottements des pièces en mouvement.

Ce travail enfin peut être facilement converti en effort par tonne brute de machine remorquant un train dans différentes conditions de tracé.

1° En palier et en alignement.

La vitesse de la machine étant de $8^m,02$ par seconde, l'effort cherché par tonne brute de machine a été trouvé de. . . $6^k,51$

2° Sur des rampes de 3 millimètres, et en courbe de 1,200 à 1,500 mètres de rayon.

La vitesse de la machine étant de $7^m,81$ par seconde, l'effort cherché par tonne brute de machine a été trouvé de. . $16^k,80$

Si l'on néglige l'influence de la courbe, qui dans ces conditions est peu sensible, l'on en peut conclure que la portion d'effort due à la rampe de 3 millimètres est exprimée par. . . . . $10^k,28$

3° Sur des rampes de $3^m/_m,5$, et en courbe de 1,200, 1,500 et 4,000 mètres de rayon.

La vitesse de la machine étant de $6^m,93$ par seconde, l'effort cherché par tonne brute de machine a été trouvé de. . . $17^k,22$

Et, par conséquent, la portion d'effort due à la rampe de 3,50, de. . . . . $10^k,71$

4° En rampe de 6 millimètres, et en courbe de 395 mètres de rayon.

La vitesse de la machine étant de $6^m,58$ par seconde, l'effort cherché par tonne brute de machine a été trouvé de. . $18^k,17$

Et, considérant comme constants les efforts dus au frottement des pièces en mouvement, ce qui n'est pas rigoureusement vrai par suite du passage de la machine dans des courbes de 395 mètres de rayon, l'on obtient, pour la portion d'effort résultant de la rampe de 6 millimètres et du passage dans une courbe de 395 mètres de rayon, ce chiffre de. . . . . $11^k,66$

5° Enfin en rampe de 8 millimètres et $8^m/_m,5$, et en courbe de 1,500 mètres de rayon.

La vitesse de la machine étant de $6^{m},89$ par seconde, l'effort par tonne brute de machine a été trouvé de. . . . . $18^{k},85$
et la portion d'effort motivée par la rampe de 8 millimètres et $8^{m}/_{m},5$ de. . . . . $12^{k},34$
par tonne brute de machine remorquant un train.

Expériences de MM. Kinnear Clark et Gooch.

Pertes de pression au passage du régulateur et des conduits de la chaudière. — M. Kinnear Clark et M. Gooch ont cherché aussi à déterminer, à l'aide d'expériences, la perte de pression due au passage de la vapeur au travers du régulateur et des conduits de la chaudière dans la boîte à vapeur et de la boîte à vapeur au travers des lumières dans le cylindre.

Comme MM. Lechatelier, Gouin, Polonceau, etc., ils ont trouvé que la perte de pression, dans le passage de la chaudière au cylindre, variait entre des limites très-écartées, suivant les proportions de la machine, sa disposition, la quantité d'eau entraînée ou condensée, et la vitesse.

M. Kinnear Clark a constaté, comme MM. Lechatelier et Gouin, l'influence fâcheuse du mélange de l'eau avec la vapeur sur la perte de pression. Il a reconnu que dans certains cas il pouvait la tripler.

Il admet que dans les circonstances ordinaires, la vapeur étant suffisamment sèche et les conduits de vapeur ne se trouvant pas à l'influence du courant d'air chaud dans la boîte à fumée, la perte de pression au passage de la vapeur de la chaudière dans le cylindre, le régulateur étant complétement ouvert, varie comme le *carré de la vitesse.*

M. Gooch, ayant opéré sur la machine *Great-Britain*, est arrivé à de singuliers résultats. Le régulateur étant complétement ouvert, il trouve à de grandes vitesses (60 à 90 kilomètres par heure) la pression plus grande dans la boîte à vapeur, et même dans le cylindre, que dans la chaudière. Cette anomalie tiendrait, suivant M. Clark, à ce que la vapeur partant de la chaudière assez sèche se rendrait dans la boite à vapeur au travers d'un tube mince dont une

grande partie est plongée dans la boîte à fumée, qui, étant extrêmement chaude, réchauffe la vapeur dans son trajet, et à ce que la chaleur serait plus grande à de grandes qu'à de petites vitesses.

Cette explication nous paraît difficile à admettre. Si la pression était réellement plus grande dans la boîte à vapeur que dans la chaudière, l'admission de la vapeur dans la boîte à vapeur cesserait, et la vapeur déjà admise serait refoulée dans la chaudière. On se demande donc si le résultat constaté par M. Gooch ne tiendrait pas à une erreur d'observation.

Dans cette machine, du reste, M. Gooch a trouvé que la pression était, comme dans les autres, moins grande dans le cylindre que dans la boîte à vapeur.

La pression dans la boîte à vapeur varie, d'après M. Kinnear Clark, pendant la course du piston, de $0^k,35$ à $0^k,55$ par centimètre carré, l'ouverture des lumières étant de $\frac{1}{15}$ de la surface du piston. La vapeur étant très-sèche et l'ouverture des lumières étant de $\frac{1}{10}$ de la surface du piston, la pression dans la boîte reste invariable.

La surface de la plus grande ouverture utile du régulateur n'excède dans aucun cas $\frac{1}{10}$ de la surface du piston.

Lorsque les cylindres sont parfaitement abrités du refroidissement, la section des lumières étant égale à $\frac{1}{15}$ de la section du piston et la vitesse de 64 kilomètres par heure correspondant à un parcours de 180 mètres pour le piston par minute, la perte de pression au passage des lumières de la boîte dans le cylindre est de 16 p. 100. Si les cylindres ne sont qu'imparfaitement abrités du refroidissement à des vitesses variant entre 32 et 96 kilomètres par heure, la perte de pression varie de 20 à 40 p. 100.

Les cylindres étant parfaitement abrités du refroidissement et la section des lumières étant $\frac{1}{10}$ de celle du piston, la perte au passage des lumières n'excède jamais 9 p. 100, même aux plus grandes vitesses.

La perte de pression dans les conduits de vapeur dont la section est inférieure à $\frac{1}{16}$ de celle du piston varie de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{4}$ de la pression totale à toutes vitesses, le régulateur étant entièrement ouvert; mais, la section de ces conduits étant $\frac{1}{10}$ de l'aire du piston et la vapeur dans un état moyen de siccité, la perte de pression qu'ils occasion-

nent est sensiblement nulle. La section étant $\frac{1}{13}$ de celle du piston et la vapeur étant dans un état parfait de siccité, la perte de pression peut encore être considérée comme nulle.

La pression de la vapeur dans le cylindre pendant l'admission n'est sensiblement constante que pour de petites vitesses. Dès que la vitesse du piston atteint 180 mètres par minute, la diminution de pression a lieu et augmente avec la vitesse.

La limite de vitesse à laquelle la réduction de pression commence est d'autant plus faible que le temps de l'admission est plus court. L'agrandissement de l'orifice des lumières diminue la réduction de pression; toutefois au delà d'une certaine ouverture, toujours inférieure à l'ouverture totale, cet agrandissement cesse d'exercer une influence sensible.

La réduction de pression diminue avec l'avance à contre-vapeur et jusqu'à une certaine limite en raison inverse du recouvrement. Il faut donc, pour la diminuer, augmenter le recouvrement jusqu'à une certaine limite ($0^m,025$ à $0^m,036$ suivant le diamètre des cylindres), diminuer l'avance à contre-vapeur, et augmenter la section des lumières.

L'état de siccité de la vapeur exerce aussi une certaine influence sur cette diminution de pression aussi bien que sur la résistance au passage des conduits compris entre la chaudière et la boîte à vapeur.

La perte totale de pression au passage de la vapeur de la chaudière dans les cylindres peut atteindre, à de très-grandes vitesses, 50 et jusqu'à 60 p. 100.

On peut, en combattant les causes signalées de la perte de pression, augmenter considérablement le travail utile de la machine.

Perte de force provenant de l'échappement. — MM. Kinnear Clark et Gooch ont aussi recherché la perte due à l'échappement anticipé et à la compression.

La perte de force expansive par l'échappement anticipé est très-peu sensible. Elle est presque nulle et plus que compensée par la diminution de la contre-pression.

M. Gooch a fait des essais sur la machine *Great-Britain*. Dans cette machine les cylindres sont parfaitement abrités du refroidissement, la section des lumières est égale à environ 0.10 de la section des cylindres, la section de l'orifice d'échappement varie de 0.055 à 0.090, et l'avance linéaire à l'échappement est d'environ $\frac{1}{12}$. Il a obtenu les résultats suivants :

La perte de force provenant de la contre-pression exercée sur le piston, si la vapeur est suffisamment sèche, varie comme le carré de la vitesse et en raison inverse du carré de la surface de l'orifice d'écoulement.

A la vitesse de 96 kilomètres par heure, la perte pour la plus grande course varie de 0.125 à 0.100 de la puissance totale. A la vitesse de 48 kilomètres, de 0.090 à 0.025.

L'admission étant de 30 à 40 pour 100 de la course, la perte à la vitesse de 48 kilomètres varie de 0.125 à 0.20.

Perte de force provenant de la compression. — *La résistance produite par la compression varie lentement avec la vitesse. Elle augmente avec la détente de telle façon, qu'étant de* 8 *pour* 100 *pour la plus longue admission elle devient de* 28 *pour* 100 *si l'admission n'a lieu que pendant les* $\frac{1}{10}$ *de la course.* Elle neutralise par conséquent dans ce dernier cas plus de $\frac{1}{4}$ de la puissance totale.

Aux plus grandes vitesses, la réduction provenant de la pression dans le cylindre étant compensée par la compression, la totalité de la réduction par la contre-pression est à peu près la même pour tous les degrés.

Pression effective dans le cylindre. — Aux plus grandes vitesses, de 45 à 90 kilomètres par heure et avec de lourdes charges, le plus grand travail des machines, ayant des lumières dont la section est $\frac{1}{14}$ de l'aire du piston et un orifice d'échappement $\frac{1}{13}$ à $\frac{1}{16}$, correspond à une admission qui ne dépasse pas 66 pour 100, ce qui prouve que la plus grande pression effective correspond aussi à cette admission.

Avec la machine *Great-Britain* traînant de fortes charges, la lumière et l'orifice d'échappement étant supérieurs, le maximum d'effet utile s'obtient en admettant la vapeur pendant une portion de course égale à 75 pour 100 de la course totale.

Pour de plus longues admissions que 66 ou 75 pour 100, la pression effective devient moins grande[1].

La pression effective moyenne dans le cylindre varie avec la durée de la période d'admission. L'admission ayant lieu pendant les $\frac{3}{4}$ de la course, elle est de 90 pour 100; pendant $\frac{1}{2}$ de 67 pour 100; et pendant $\frac{1}{4}$ de 40 pour 100.

La consommation d'eau vaporisée, pour une même durée d'admission, par force de cheval et par heure, est pratiquement constante, quelle que soit la vitesse.

Travail de la détente. — Le travail de la vapeur par unité de poids agissant par détente s'accroît par suite de la réduction de l'admission. L'admission étant de 10 pour 100 de la course, il est presque exactement le double de ce qu'il est pour la plus longue course, ou 75 pour 100 d'admission; c'est-à-dire que *la vapeur, lorsqu'on pousse la détente jusqu'à sa dernière limite, produit à peu près le double de travail par unité de poids que dans le cas de la plus longue admission.*

En conséquence, la consommation de vapeur par force de cheval et par heure, étant de 13,70 kilog. pour la plus longue course du tiroir, n'est plus que de 6,20 pour la course la plus faible.

Pression soufflante ou pression à l'orifice d'échappement. — *La pression soufflante (celle de la vapeur à l'orifice d'échappement) varie comme le carré de la vitesse.*

Elle varie aussi proportionnellement à la contre-pression de la vapeur dans le cylindre au moment où l'échappement commence.

Elle est dans tous les cas sensiblement inférieure à cette dernière.

La pression soufflante moyenne dans les expériences a varié de 0.090 à 0.625 de la contre-pression dans le cylindre.

L'aire de l'orifice d'échappement n'a d'influence sur la pression soufflante qu'autant qu'elle est plus petite que celle des lumières ou de la partie la plus étroite du tuyau d'échappement.

Eau entraînée ou condensée. — M. Clark a aussi recherché quelle était la quantité d'eau entraînée ou condensée. Il a trouvé

[1] Cette réduction de pression tient sans doute à l'insuffisance des chaudières pour produire la quantité de vapeur nécessaire.

qu'elle variait entre des limites très-écartées, suivant le degré de pureté de l'eau, les dimensions du réservoir de vapeur et les dispositions de la machine.

Il faut, pour que l'entraînement soit réduit à son minimum : 1° que la profondeur du réservoir de vapeur dans le corps cylindrique soit égale au moins à $\frac{1}{4}$ de son diamètre ; 2° que la capacité du réservoir de vapeur dans la boîte à feu soit égale à celle du réservoir dans le corps cylindrique ; 3° que l'orifice du tube d'éduction de la vapeur s'élève au-dessus du corps cylindrique d'une hauteur égale à $\frac{3}{4}$ au moins de son diamètre. On obtient aussi de la vapeur sèche en se servant du tube fendu dans toute sa longueur, de Hawthorn (tube des machines Crampton).

La chaudière remplissant ces conditions, on doit évaporer 5 mètres cubes d'eau par mètre cube de réservoir de vapeur, sans qu'il y ait un entraînement d'eau de quelque importance.

Quant à ce qui est de la perte de vapeur par la condensation, il résulte des expériences de M. Clark qu'avec la pression habituelle ($4^k,25$ par centimètre carré) l'admission variant de 50 à 75 pour 100 de la course totale, la quantité d'eau condensée dans des cylindres extérieurs exposés au refroidissement est d'environ 11 p. 100 de la quantité totale évaporée.

L'admission n'ayant lieu que pendant une portion de 12 à 20 p. 100 de la course totale, elle s'élève à 30 ou 40 p. 100.

Avec une pression de $6^k,37$ et au delà, les pertes, dans le cas d'une admission pendant 60 p. 100 de la course et au delà, sont considérablement moindres.

Dimensions de la chaudière. — M. Armstrong ayant constaté que la vaporisation avait lieu plus facilement sur une paroi horizontale supérieure au foyer ou sur une paroi inclinée que sur une paroi verticale, plusieurs constructeurs en Angleterre ont incliné les parois latérales en rétrécissant la boîte à feu dans le haut. Cette inclinaison, dans un certain nombre de machines, ne dépasse pas 0.02. Dans les machines-tenders de M. Sinclair, elle atteint 0.10.

Boîte à feu. — L'espace rempli d'eau compris entre la paroi intérieure de la boîte à feu avait de $0^m,10$ à $0^m,15$ de largeur. On

l'a réduit dans les nouvelles machines à $0^m,06$. M. Clark craint que cette réduction de largeur ne nuise à la vaporisation.

Éléments influant sur le rapport de la surface de chauffe du foyer à celle des tubes. — Le rapport de la surface de chauffe du foyer à celle des tubes est très-variable. Il dépend de différents éléments, tels que la surface de la grille, l'activité de la combustion, etc.

La quantité de combustible que peut contenir la boîte à feu dépend de la surface de la grille et de l'espace compris entre la grille et la dernière rangée inférieure des tubes.

Pour une même épaisseur de la couche de coke, la combustion peut être considérée comme proportionnelle à la surface de la grille.

Vide produit dans la boîte à fumée. — *Le vide dans la boîte à fumée varie comme la pression soufflante, quelle que soit la détente.*

Ce vide est influencé par d'autres circonstances.

Ainsi l'accroissement de l'épaisseur de la couche de coke tend à l'augmenter en rendant le passage de l'air au travers de la grille plus difficile. La fermeture plus ou moins complète de la soupape du cendrier produit le même effet. On diminue au contraire ce vide en ouvrant la porte du foyer ou la soupape du cendrier.

Le vide dans la boîte à fumée croît de manière très-différente avec la puissance soufflante dans les différentes machines; toutefois on remarque qu'en tous cas la pression en pouces d'eau dans la boîte à fumée est égale à la pression en pouces de mercure de la soufflerie.

Le vide croît avec la pression soufflante, même aux plus grandes vitesses, ce qui prouve que le jet de vapeur conserve son pouvoir de raréfaction de l'air à toutes les vitesses et pressions de vapeur.

Influence des dimensions de la cheminée sur le vide. — Le diamètre de la cheminée a une grande influence sur le tirage. Dans les cheminées de machines fixes, on ne saurait le faire trop grand, car on augmente ainsi le tirage. Il n'en est pas de même dans les locomotives, où l'air chaud n'est pas la cause principale du tirage.

Il résulte d'expériences faites par M. Clark avec deux machines tout à fait semblables d'ailleurs, dont l'une avait une cheminée de

$0^m,45$ de diamètre, et l'autre de $0^m,39$, que la production de vapeur était plus grande pour un même orifice d'échappement pour la seconde que pour la première.

En vain a-t-on diminué l'orifice d'échappement pour augmenter la production; on n'a pas réussi. Plus le diamètre de la cheminée est petit, plus celui de l'orifice d'échappement doit être grand pour obtenir le même vide dans la boîte à fumée, c'est-à-dire le même tirage, ce qui donne l'avantage aux cheminées de petit diamètre sur celles à grand diamètre.

Pour une chaudière donnée, il n'y a qu'un seul diamètre de cheminée qui correspond au plus grand effet. Pour des diamètres plus grands ou plus petits, on est obligé de réduire l'orifice d'échappement.

Parmi les causes accidentelles qui peuvent influer sur le tirage se trouvent le vent et l'ouverture plus ou moins grande de la porte du foyer ou de la soupape du cendrier. Le vent favorise le tirage ou lui est contraire, suivant la direction. Il agit sous la grille ou au sommet de la cheminée. La forme de la cheminée dans le haut peut en modifier l'action. M. Clark préfère la forme figure 634, donnée par M Sinclair à ses cheminées, à celle, figure 633, donnée par

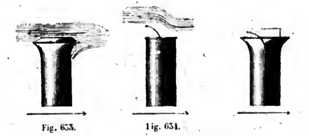


Fig. 633. Fig. 634.

M. Fairbairn. L'action de ces deux formes sur le courant d'air est indiquée par les figures même.

De l'influence de la forme du tube soufflant sur le tirage. — Un tube trop contourné, surtout dans le voisinage de l'orifice d'échappement, rend le tirage plus difficile. Le tube unique est préférable au tube à deux branches. Dans ce dernier cas, représenté figure 635, le jet de vapeur, selon qu'il provient de l'un ou de l'autre cy-

lindre, suit la direction *db* ou la direction *dc*. Cette circonstance est défavorable au tirage. Il vaut mieux que le jet de vapeur soit constamment vertical. L'enveloppe du tube d'échappement doit aussi être parfaitement concentrique à celle de la cheminée, et ce tube doit se terminer par un biseau, comme l'indique la figure; le biseau extérieur favorise le mélange de l'air chaud avec la vapeur.

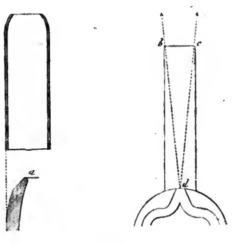


Fig. 635.

Le corps du tube doit être très-large et se rétrécir seulement vers l'orifice.

Pour faciliter le dégagement du jet de vapeur, il faut que l'orifice d'échappement se trouve sensiblement au-dessous de la base de la cheminée. La distance doit être en rapport avec le diamètre de la cheminée. Le mieux est qu'elle soit égale à ce diamètre.

On facilite encore l'accès du jet de vapeur à la cheminée, et, par suite, le tirage, en donnant à celle-ci la forme d'une cloche à la base.

Des vides relatifs dans la boîte à fumée et dans la boîte à feu. — Le rapport du vide dans la boîte à feu au vide dans la boîte à fumée se trouve, d'après des expériences faites par M. Clark et

d'autres expériences déjà citées faites par M. Polonceau, varier de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{9}$. Il est d'autant plus grand que la résistance au passage des tubes est plus faible.

Circonstances influant sur la section de l'orifice d'échappement. — La surface de l'orifice d'échappement dépend essentiellement des dimensions de certaines parties de la chaudière. Elle est pratiquement indépendante de la section des cylindres.

Cette surface dépend surtout : de la surface de la grille, de celle des bagues ou viroles de la boîte à feu, de la section d'écoulement par les tubes et les viroles, de la grandeur du passage ménagé à l'air entre les barreaux de la grille, de la section des viroles du côté de la boîte à fumée, et de la surface de chauffe par contact des tubes. L'influence des deux derniers éléments est peu sensible.

Détermination des dimensions de la cheminée. — Nous avons déjà indiqué toute l'influence des dimensions de la cheminée. La section de la plus petite cheminée parmi celles des machines soumises à l'essai par M. Clark est d'environ $\frac{1}{15}$ de la grille, et cette section correspond au plus grand orifice d'écoulement pour un même tirage dans les mêmes conditions. Le rapport de $\frac{1}{15}$ est donc le meilleur. Quant à la hauteur de la cheminée, une hauteur de quatre fois le diamètre paraît être la plus favorable au tirage.

Influence du volume de la boîte à fumée et détermination des dimensions de cette boîte. — Le volume de la boîte à fumée exerce aussi une grande influence sur le tirage. M. Peacock, sur un chemin écossais, a trouvé de l'avantage à réduire la capacité des boîtes à fumée de toutes les machines dans le rapport de 4 à 3. Il admet qu'*en général le nombre de mètres cubes de la boîte à fumée doit être égal à trois fois le nombre de mètres carrés de la grille.*

Rapport entre la section de l'orifice d'échappement et celle de la grille dans des circonstances données. — Dans les chaudières de proportions ordinaires, la section des viroles du côté de la boîte à feu étant égale à un cinquième de la surface de la grille ou à peu près, et la section des tubes égale à un quart, la section de l'ori-

fice d'échappement, en admettant que le tube soufflant, la boîte à fumée et la cheminée se trouvent dans les meilleures conditions, doit être de un soixante-sixième de la surface de la grille. Dans les chaudières moins bien proportionnées, où la section des viroles ne dépasse pas un dixième de la surface de la grille, on doit adopter pour la surface de cet orifice environ un quatre-vingt-dixième de celle de la grille.

L'influence de la grandeur de l'orifice d'échappement sur la pression soufflante n'est sensible qu'autant que la section de cet orifice est moindre que celle des lumières ou d'une partie quelconque des tuyaux d'échappement.

Influence des dimensions de la grille et de la surface de chauffe sur l'évaporation. — Le poids d'eau évaporée par heure pour un même degré d'activité dans la combustion croît avec la température à laquelle l'eau est injectée par les pompes dans la chaudière.

Le poids d'eau évaporée étant 100, si la température initiale de l'eau injectée est seulement de 62° Fahrenheit, le poids évaporé est de 115 quand cette température s'élève à 212° Fahrenheit (100° centigr.).

L'évaporation d'une locomotive dépend aussi beaucoup de la manière dont le feu est conduit. On évapore plus avec un feu *bas* qu'avec un feu *profond*.

La quantité d'eau évaporée par une locomotive dépend essentiellement :

De la surface de la grille,

De la surface de chauffe,

De la quantité de combustible brûlé par heure.

On dit que l'on marche économiquement toutes les fois que le poids d'eau évaporée par kilogramme de coke atteint 9 kilogrammes.

On peut, pour chaque rapport de la surface de chauffe à la surface de la grille, déterminer une certaine quantité d'eau évaporée par heure pour laquelle on atteint la limite de 9 kilogrammes d'eau évaporée par kilogramme de coke.

Si, en augmentant le tirage, on dépasse cette quantité d'eau, la

consommation de coke par unité du poids de l'eau évaporée augmente.

Il faut: pour ramener cette consommation à $\frac{1}{9}$ de kilog. de coke par kilogramme d'eau, ou augmenter la surface de chauffe ou diminuer la surface de la grille.

Influence du rapport de la surface de chauffe à la surface de grille sur l'évaporation. — M. Clark pose en principe que la surface de chauffe doit être 85 fois aussi grande au moins que celle de la grille, que la grille, pour ce rapport, doit avoir au moins $0^m,74$ de surface, qu'elle consomme alors $5^k,60$ de coke par décimètre carré et que la quantité d'eau évaporée dans le même temps, également pour un décimètre carré de grille, est de $0^m,048$. D'où il résulte que la consommation de coke dépasse un peu $\frac{1}{9}$ de kilog. par kilog. d'eau évaporée.

La surface de chauffe étant égale à 100 fois celle de la grille, la consommation de coke par décimètre carré et par heure est de $7^k,50$, la quantité d'eau évaporée pour la même surface de grille et dans le même temps est de $0^m,066$, et la quantité de coke brûlé pour évaporer un kilog. d'eau diffère peu de $\frac{1}{9}$ de kilog.

L'écartement des tubes exerce une grande influence sur l'évaporation. Il doit augmenter au fur et à mesure de l'augmentation du nombre des tubes, dans la proportion de $0^m,003$ pour trente tubes, en sorte que, si le nombre de tubes est de 30 seulement, $0^m,003$ suffit; que, pour 60, il faut $0^m,006$; pour 90. $0^m,009$; pour 120, $0^m,012$; pour 150, $0^m,015$; et pour 180, $0^m,018$.

Pour augmenter la surface de chauffe par contact, il vaut mieux augmenter le nombre des tubes en ménageant l'écartement convenable entre les tubes que d'augmenter la longueur. En augmentant la longueur, on augmente la résistance au tirage et on diminue ainsi la force utile de la machine.

Développement des lumières d'introduction. — Le développement des conduits d'introduction dépend de la distance de l'axe du piston à la table du tiroir, distance qui varie avec la disposition générale du mécanisme; il importe de la réduire autant que possible pour diminuer la résistance du frottement qui fait perdre à la vapeur, en contact avec le piston, une partie de sa tension, et qui

surtout augmente la contre-pression pendant l'échappement. — En outre, la capacité des lumières constitue un *espace nuisible* qui se remplit de vapeur à chaque coup de piston, sans profit pour le travail de la machine.

Lumières. — Les lumières ou conduites de vapeur à l'introduction doivent avoir une section à peu près égale à celle du tuyau de prise de vapeur, c'est-à-dire à $\frac{1}{10}$ environ de l'aire des pistons; celle de la lumière d'échappement est à peu près égale à la somme des deux autres.

Rapprochements entre l'opinion des constructeurs anglais et celle des constructeurs français.

Nos constructeurs français se sont, dans certains cas, très-sensiblement écartés des règles que pose M. Clark pour les dimensions à donner aux différentes parties de la chaudière. Quelquefois ils sont d'accord avec l'ingénieur anglais.

Boite à feu. — Ainsi ils évasent la boite à feu dans le haut plutôt que de la rétrécir.

Tube d'échappement. — Ils préfèrent le tube d'échappement à deux branches au tube à une branche.

Boite à fumée. — Le volume des boites à fumée, dans les machines françaises, se rapprochant généralement de 1 mètre cube, tandis que la surface des grilles se rapproche de 1 mètre carré, ce rapport de 3 à 1, ou à peu près, indiqué par M. Clark, est aussi celui qu'ont adopté nos constructeurs.

Section du tuyau et de l'orifice d'échappement. — Quant à ce qui est des dimensions qu'il convient de donner à l'orifice d'échappement de la vapeur projetée dans la cheminée, il est impossible d'établir des comparaisons entre nos machines et les machines anglaises, puisque dans nos machines cet orifice varie de grandeur, tandis que dans les machines anglaises il reste invariable. Voici toutefois ce qu'ont écrit les auteurs du *Guide* sur les dimensions du tuyau et de l'orifice d'échappement.

La section du tuyau d'échappement est habituellement, pour chaque cylindre, égale à celle du tuyau de prise de vapeur, c'est-à-dire à environ $\frac{1}{10}$ de l'aire du piston; quelquefois elle lui est supé-

rieure de $\frac{1}{5}$; si le tuyau est commun, cette section doit être doublée.

« Ces dimensions varient du reste avec les dispositions générales de la machine et avec la nature du combustible; si celui-ci est de très-bonne qualité et si le volume des cylindres est faible relativement à la surface de chauffe, il n'est pas nécessaire de disposer l'échappement de manière à produire un tirage artificiel très-énergique.

« Il faut laisser une très-large section aux tuyaux qui donnent issue à la vapeur et à l'orifice de la tuyère, qui peut atteindre le diamètre de $0^{m},12$ à $0^{m},15$. Il n'y a même dans ce cas qu'un médiocre intérêt à rendre l'échappement variable, car c'est moins la section de l'orifice supérieur que celle des lumières du cylindre et de la partie de la conduite adhérente au cylindre qui influe sur la pression résistante, derrière le piston. Dans le cas contraire, il faut compenser par l'énergie du tirage l'insuffisance de la surface de chauffe et faire passer de force, pour ainsi dire, l'air à travers le combustible, dont les cendres et le mâchefer rendent la masse moins perméable. Il faut éviter de donner un trop grand volume aux conduites, parce que la vapeur, en sortant du cylindre, s'y détendrait et ne conserverait plus une vitesse suffisante en arrivant à la cheminée. Par le même motif, il faut rétrécir l'orifice de la tuyère et lui donner seulement $0^{m},07$ à 0,08 de diamètre si sa section n'est pas variable. C'est dans ce cas surtout que l'échappement variable peut rendre de grands services. Ce qui précède explique pourquoi les Anglais n'ont pas habituellement fait usage de l'échappement variable, qui a été au contraire adopté d'une manière générale en France. »

M. Clark n'est pas d'accord avec les auteurs du *Guide* sur la hauteur à laquelle doit se trouver l'orifice d'échappement. En effet, lorsque M. Clark recommande de maintenir une certaine distance entre l'orifice d'échappement et la base de la cheminée, les auteurs du *Guide* disent que « le tuyau d'échappement doit s'engager de quelques centimètres dans la cheminée. »

Rapport de la surface de chauffe à la surface de la grille. — Si nous étudions ce rapport de la surface de chauffe à la surface de la grille dans les machines françaises, nous trouvons que nos constructeurs ne s'éloignent pas beaucoup des indications de M. Clark;

ainsi, lorsque l'ingénieur anglais recommande la proportion de 85 à 1, M. Polonceau, pour ses machines à voyageurs, adopte celle de 72 à 1, et, pour ses machines à marchandises, celle de 100 à 1.

L'écartement des tubes est à peu près le même dans nos machines que dans les machines anglaises.

Longueur de la partie cylindrique et des tubes. — En ce qui concerne leur longueur, l'opinion de M. Clark est entièrement conforme à celle des auteurs du *Guide*, qui reproduisent, en déclarant qu'ils l'adoptent, l'opinion émise par MM. Brunel et Gooch dans les termes suivants :

« Dans les chemins à voie de 1^{m},50, on a cherché à compenser l'inconvénient de ne pouvoir donner une grande largeur à la boîte à feu par une augmentation de longueur de la chaudière; mais c'est une erreur de croire qu'on y gagne de la puissance, car nous avons expérimenté qu'il suffisait que la superficie totale des tuyaux fût égale à environ dix à onze fois la surface de la boîte à feu[1] pour que ces tubes abandonnassent à l'eau de la chaudière toute la chaleur de quelque importance; il vaudrait mieux, pour y remédier, augmenter le nombre des tubes que les allonger; car, dans le premier cas, on arriverait au résultat par l'augmentation de la section d'écoulement, tandis que dans l'autre on serait forcé d'augmenter la contre-pression pour obtenir le vide nécessaire dans la boîte à fumée, vide qui, dans les nouvelles machines à longues chaudières, s'est élevé à environ 0^{m},27 de hauteur d'eau, tandis qu'il n'excède pas 0^{m},12 à 0^{m},15 dans les machines du Great-Western. »

Dimension de l'orifice d'échappement. Hauteur de la cheminée. — Les auteurs du *Guide* n'admettent pas la règle posée par M. Clark pour déterminer la hauteur de la cheminée; c'est ce que prouve le passage suivant, emprunté à cet ouvrage.

« La hauteur de la cheminée est insuffisante pour exercer une influence très-marquée sur le tirage; elle ne pourrait, dans aucun cas, suffire à elle seule pour le produire, mais il est essentiel de la rendre aussi grande que possible, soit pour augmenter le tirage constant, soit pour rendre plus efficace l'action du jet de vapeur. »

[1] Dans les machines Engerth néanmoins, ainsi que nous l'avons indiqué plus haut, elle est égale à dix neuf fois la surface de la boîte à feu.

En France, la hauteur des cheminées est généralement limitée à 4^{m},25 au-dessus du rail, la hauteur normale des ouvrages d'art étant de 4^{m},30. La hauteur effective de la cheminée varie, suivant la hauteur de la chaudière, de 1^{m},60 à 2 mètres; son diamètre intérieur varie de 33 centimètres à 45 centimètres. La comparaison des dimensions, relevées sur un grand nombre de machines, donne 70 centimètres pour le rapport de la section de la cheminée à la section totale des tubes garnis de leur virole. Il y a un rapport nécessaire entre ces éléments; mais aucune donnée théorique, aucune expérience, n'ont servi de point de départ dans la construction de la plupart des machines. Aussi remarque-t-on des différences assez marquées d'une machine à l'autre; c'est là une lacune regrettable qu'il serait facile de combler par quelques expériences peu coûteuses.

Si, dans la machine à voyageurs de M. Gouin, la hauteur de la cheminée est égale à quatre fois environ le diamètre, comme le recommande M. Clark, elle est, dans les machines de M. Polonceau et dans celles de M. Crampton, d'environ cinq fois ce diamètre, et, dans les machines à marchandises de M. Polonceau ou dans celles du Bourbonnais, quatre fois et demi.

M. Polonceau est loin de considérer la hauteur de la cheminée comme à peu près indifférente. Il a constaté que, les cheminées des machines du chemin d'Orléans ayant été coupées pour faire passer ces machines sous les ponts du chemin d'Orléans à Bordeaux, la production de vapeur avait diminué sensiblement.

M. Clark conseille d'évaser la cheminée à la partie inférieure. Les auteurs du *Guide* le conseillent aussi.

Parties composantes de la cheminée. — La cheminée, disent-ils, reste le plus souvent cylindrique jusqu'au sommet, et l'évasement qu'elle porte à la partie supérieure n'est alors qu'un ornement; mais elle s'évase souvent à la base sur une petite partie de sa hauteur. Cette disposition, dont l'utilité a été souvent contestée, est cependant consacrée par l'expérience, et elle tend à devenir générale; elle facilite l'écoulement des gaz et remédie en partie à l'étranglement qu'occasionne le tuyau d'échappement, qui doit s'engager de quelques centimètres dans la cheminée.

MM. Polonceau, Gouin et Crampton ont admis le rapport de $\frac{1}{10}$ ou $\frac{1}{12}$ pour celui de la section de la cheminée à la surface de la grille, au lieu de $\frac{1}{15}$ conseillé par M. Clark. C'est aussi entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{12}$ que varie le même rapport pour les machines à marchandises de M. Polonceau et du Bourbonnais.

M. Clark conseille le rapport de $\frac{1}{10}$ entre la section des lumières et l'aire du piston comme un rapport convenable. C'est aussi celui que recommandent les auteurs du *Guide*.

Écartement des essieux extrêmes. — L'écartement des essieux extrêmes dans les machines françaises et anglaises à essieux parallèles est très-variable. Dans les anciennes machines de Sharp-Roberts à chaudière courte, il n'était que de $3^m,44$, bien qu'un des essieux fût placé en arrière de la boîte à feu; il a été porté à $4^m,30$ par M. Polonceau dans des machines dont la chaudière a $3^m,25$ de longueur, et dans lesquelles un des essieux se trouve aussi derrière la boîte à feu. Il n'est que de $3^m,40$ à $3^m,50$ dans les machines à marchandises du système Stephenson avec les trois essieux intercalés entre les deux boîtes.

Cet écartement doit être d'autant plus faible que le rayon des courbes du chemin est plus petit. Celui de $4^m,86$ des machines Crampton est considérable, même pour des chemins à très-grands rayons de courbure, et il serait peu convenable pour des machines qui ne se trouveraient pas dans des conditions exceptionnelles, comme les machines Crampton. $4^m,30$ peuvent être, pour les machines de voyageurs ordinaires, une limite que l'on devrait rarement dépasser.

D'après les auteurs du *Guide*, on peut augmenter l'écartement des essieux extrêmes lorsque l'essieu d'arrière ne supporte qu'une petite partie du poids de la machine et ne joue qu'un rôle accessoire. On donne alors à la boîte à graisse un jeu assez considérable dans la plaque de garde, et l'essieu peut se déplacer et dévier de la direction normale à l'axe de la machine, en raison de la courbure de la voie; cette machine jouit des propriétés de l'ancienne machine à quatre roues pour la faculté du passage dans les courbes.

Lorsque, au contraire, la machine affecte l'une des dispositions,

figure 464 ou 476, il devient impossible de donner un jeu appréciable aux fusées et aux boîtes à graisse des roues d'avant et d'arrière ; c'est à la roue du milieu qu'il faut tâcher d'appliquer les artifices qui peuvent faciliter le mouvement dans les courbes. Dans le cas où la roue du milieu est seulement une roue porteuse, les roues motrices étant à l'arrière (modèle Crampton), on peut donner à la fusée un jeu assez considérable dans les coussinets, ou mieux encore aux boîtes à graisse entre les plaques de garde, et la machine rentre encore dans les conditions de la machine à quatre roues. Lorsque enfin la roue du milieu est la roue motrice, ou qu'elle est couplée avec la roue motrice, ce moyen de faciliter le passage dans les courbes cesse d'être admissible. On réduit alors l'épaisseur des boudins, ou même on les supprime complétement, comme l'a fait Stephenson dans un grand nombre de ses machines. Le mieux, pour éviter les accidents en cas de rupture des bandages ou du boudin des roues d'avant, est, selon nous, de conserver ce boudin en se bornant à l'amincir, afin d'augmenter le jeu de la voie pour cet essieu en particulier.

Répartition du poids sur les essieux. — La distribution du poids sur les essieux est un point important. Dans les machines à voyageurs, à roues indépendantes, on doit faire porter une partie importante de ce poids sur les roues motrices, et une portion un peu plus faible, mais toujours considérable, sur les roues d'avant. Quant aux roues d'arrière, qui n'ont pour objet que de s'opposer au mouvement de galop, on peut en réduire considérablement la charge.

Dans les machines du système Crampton, les roues motrices placées à l'arrière ne peuvent pas être chargées de plus de moitié du poids de la machine. Celles d'avant portent la même charge; celles du milieu sont faiblement chargées.

En tout cas, on ne doit pas dépasser la charge de 12 tonnes par paire de roues. Une charge plus grande occasionnerait aux rails une fatigue excessive.

Dans les machines mixtes, les roues couplées doivent porter une charge égale, qui, pouvant s'élever à 12 tonnes par paire de roues, peut atteindre 24 tonnes pour les deux paires de roues. La troisième paire de roues porte le reste.

Dans les machines à marchandises avec trois paires de roues couplées, la charge doit être distribuée aussi uniformément que possible sur ces trois paires de roues.

La charge sur les roues motrices d'une machine locomotive produit l'adhérence, qui doit toujours être en rapport avec la puissance que l'on veut utiliser. Lorsqu'on ne peut pas arriver, par la charge des roues, à une adhérence suffisante, il faut en augmenter le diamètre, ce qui, dans certains cas, est avantageux même pour la puissance des machines. Une fois qu'elles sont lancées, on trouve une source d'économie de vapeur dans la réduction de la vitesse d'oscillation des organes moteurs et la moindre fréquence des admissions et échappements de vapeur.

M. Kinnear Clark pose les règles suivantes pour la distribution du poids sur les essieux.

Dans les machines avec roues indépendantes, les roues motrices étant placées au milieu :

Faire porter $\frac{2}{3}$ du poids de la machine sur les roues motrices, pourvu toutefois que cette portion du poids ne dépasse pas 12 tonnes;

$\frac{1}{4}$ sur les roues directrices ou roues d'avant (*leading wheels*);

$\frac{1}{12}$ seulement sur les roues d'arrière (*trailing wheels*).

En appliquant cette règle, si la machine pèse 18 tonnes, on a :

Sur l'essieu moteur 12 tonnes de charge,

Sur l'essieu directeur 4 tonnes et demie de charge,

Sur l'essieu d'arrière 1 tonne et demie de charge.

Si le poids de la machine dépasse 18 tonnes, il faut, après avoir chargé l'essieu moteur de 12 tonnes, distribuer l'excédant de la charge sur les deux autres essieux, les roues d'avant, qui *conduisent* la machine, devant toujours être surchargées si l'on veut éviter les déraillements, et celles d'arrière, dont le rôle se réduit à empêcher les mouvements de galop, pouvant ne porter qu'une très-faible charge.

Une machine de 18 tonnes *à roues indépendantes* permet donc d'utiliser le maximum d'adhérence qu'il est sage de ne pas dépasser si l'on veut ménager les rails. Tout poids excédant 18 tonnes, du moins dans les machines de cette espèce, est inutile comme moyen

d'augmenter l'adhérence, et il correspond à une augmentation des dimensions de la machine qui ne peut avoir pour objet qu'un accroissement de la production de vapeur nécessité par un accroissement de vitesse.

Dans les machines Crampton, la charge sur l'essieu moteur ne pouvant dépasser la moitié du poids de la machine, on ne peut obtenir sans danger pour les rails le maximum d'adhérence dont les machines de ce genre sont susceptibles qu'autant qu'elles pèsent 24 tonnes au moins, ce qui est un désavantage de ces machines comparées sous un certain point de vue aux machines avec roues indépendantes placées dans le milieu.

Dans les machines Crampton remorquant les trains express, la machine pesant 27 tonnes, les roues d'arrière ou roues motrices portent 11 tonnes et demie; celles d'avant 11 tonnes et demie également; et celles du milieu 4 tonnes seulement.

Les grandes dimensions adoptées pour ces machines, leur poids considérable, ont donc pour objet l'accroissement de la production de vapeur plutôt que l'augmentation d'adhérence.

Il s'en faut que les règles posées par M. Kinnear Clark aient été exactement appliquées à toutes les machines à roues indépendantes des chemins anglais. Ainsi, passant en revue les différents modèles de ces machines avec essieu moteur placé au milieu, nous trouvons le poids distribué de la manière suivante :

	Poids sur l'essieu moteur.	Poids sur l'essieu directeur.	Poids sur l'essieu d'arrière.
Machines de Sharp (Manchester) pesant 18 tonnes.	9 1/2	5 3/4	2 3/4
Machines de Wilson (Leeds) pesant 27 tonnes 3/4.	12 3/4	8 1/2	6 1/2
Machines de Hawthorn (Newcastle) pesant 27 tonnes.	11	10 1/2	5 1/2

On a dit que, l'essieu moteur placé au milieu étant surchargé, les rails ployaient quelquefois sous cette charge; qu'ils se relevaient alors sous les roues extrêmes, et que la machine glissait. Les partisans des machines à quatre roues en ont conclu qu'il fallait supprimer les roues de derrière. M. Kinnear Clark pense, et nous pensons comme lui, qu'il vaut mieux, dans ce cas, augmenter la roideur

des rails. Il conseille aussi d'employer pour les roues motrices des ressorts assez élastiques pour suivre les inflexions de la voie.

Lorsqu'on veut utiliser plus de puissance que ne permet d'en employer une adhérence de 12 tonnes, il faut accoupler deux paires de roues au moins, et la machine devient alors une machine mixte.

Dans les machines mixtes, les roues couplées peuvent être placées à l'arrière ou à l'avant.

Dans le premier cas, pour obtenir le maximum d'adhérence compatible avec la conservation de la voie, il faut que, les roues d'arrière portant 24 tonnes, soit 12 tonnes par paire de roues, celles d'avant portent au moins 6 tonnes, ce qui porte le poids de la machine à 30 tonnes.

Dans le second cas, les roues couplées portant 24 tonnes, les roues porteuses placées à l'arrière peuvent ne porter que 2 tonnes, et une machine de 26 tonnes suffit, du moins eu égard à l'adhérence seulement.

Position du centre de gravité. — La charge sur les essieux est réglée par leur distance du centre de gravité de toute la machine. La position du centre de gravité diffère peu dans les machines disposées de la même manière. Ainsi dans les machines du modèle de Sharp avec essieux entre les boites dans lesquels le corps cylindrique a de $3^m,20$ à $3^m,30$ de longueur et dont les boîtes à feu sont de grandes dimensions, le centre de gravité se trouve à $2^m,25$ environ de l'extrémité antérieure du corps cylindrique, le poids de la boite à feu et des roues de derrière contre-balance alors la plus grande partie du poids du corps cylindrique : des cylindres du mécanisme et des roues d'avant. Dans d'autres cas où le corps cylindrique est plus long, et où les roues de derrière sont toujours en avant du foyer, le centre de gravité se trouve encore à $2^m,25$ de l'extrémité antérieure du corps cylindrique. Il en est un peu plus rapproché si les chaudières et les boîtes à feu sont courtes.

Beaucoup de personnes pensent qu'il importe que le centre de gravité soit placé aussi bas que possible pour augmenter la stabilité de la machine. Les auteurs du *Guide* font observer avec raison que cette opinion ne saurait être absolue. Les résultats de l'expérience,

disent-ils, démontrent que les machines les plus hautes que l'on ait construites présentent beaucoup de stabilité par cela même que les dispositions du mécanisme qui ont fait élever la chaudière sont favorables à la stabilité. Dans ce cas, ils n'entendent pas par stabilité la résistance au renversement, qui est bien en raison inverse de la hauteur du centre de gravité, mais la résistance aux actions perturbatrices tendant à faire dévier la machine du mouvement de translation qui lui est naturellement imprimé par la vapeur.

La position du centre de gravité n'influe pas seulement sur la résistance au renversement en ligne droite, elle influe encore sur la direction que suit en ligne courbe la composante des forces centrifuge et centripète, appliquées l'une et l'autre au centre de gravité. Cette composante vient rencontrer le plan de la voie en un point plus ou moins éloigné de l'axe de la voie du côté de la convexité de la courbe, point dont la position varie avec celle du centre de gravité. Si ce point venait à se trouver sur le rail, la machine serait exposée à verser comme pourrait le faire une voiture qui tournerait trop brusquement sur une route ordinaire en grande vitesse; mais le calcul prouve qu'en pratique, avec les machines et les voies en usage, cet accident n'est pas à craindre.

Instabilité des machines locomotives. Moyens employés pour y remédier. — Les machines locomotives en marche ne sont pas animées seulement du mouvement de translation en avant; elles oscillent dans différentes directions autour d'axes diversement placés sur la machine elle-même.

M. Lechatelier analyse et définit de la manière suivante les divers mouvements oscillatoires d'une machine en marche.

Ces mouvements sont au nombre de quatre :

Le mouvement de *lacet*, mouvement sinueux que l'on observe également dans les waggons, et dont il a déjà été question.

Le mouvement de *galop*, mouvement d'oscillation autour d'un axe horizontal transversal à l'axe de la voie.

Le mouvement de *roulis*, mouvement d'oscillation autour d'un axe parallèle à l'axe de la voie.

Le mouvement de *tangage*, mouvement d'oscillation longitudinal de l'avant à l'arrière.

Ces mouvements oscillatoires fatiguent la machine, fatiguent la voie, augmentent la résistance et peuvent quelquefois devenir la cause de déraillements.

On les combat jusqu'à un certain point par une disposition convenable des différentes parties de la machine. Ainsi le mouvement de galop est beaucoup moins sensible lorsque, dans les machines à voyageurs, l'essieu d'arrière est placé en arrière de la boîte à feu, comme dans les machines actuelles, que s'il est à l'avant, comme dans les anciennes machines Stephenson, et le mouvement de lacet est moins sensible dans les machines à cylindres intérieurs que dans celles à cylindres extérieurs. Il est reconnu aussi que les machines dans lesquelles les essieux extrêmes sont fortement chargés, comme, par exemple, les machines Crampton, sont plus stables que les autres.

Mais, si une bonne disposition des différentes parties de la machine exerce une heureuse influence sur la stabilité de la machine, elle ne combat pas généralement toutes les causes d'instabilité. Certaine disposition, d'ailleurs, telle que celle des machines à cylindres intérieurs, qui est favorable à la stabilité, présente d'un autre côté des inconvénients graves.

M. Lechatelier, pour remédier efficacement à l'instabilité, après s'être rendu un compte exact des différents mouvements oscillatoires, a étudié les circonstances diverses qui les produisaient ou qui influaient sur leur amplitude, telles que le mode de construction et d'entretien de la voie, le mode de construction et d'entretien des machines, l'inertie des pièces du mécanisme soumises à un mouvement propre indépendant du mouvement de translation, et les pressions intérieures produites par l'action de la vapeur; il les a soumises au calcul, et il est parvenu à déterminer de cette manière le volume de contre-poids qui, placés sur les roues, annulent sensiblement les actions perturbatrices et donnent ainsi, même aux machines naturellement les moins stables, telles que celles à cylindres extérieurs, toute la stabilité désirable.

Ces calculs sont forts simples, mais ils sont assez étendus pour

que nous ne puissions les reproduire dans ce traité élémentaire, dont le cadre est limité. — Nous renverrons donc ceux de nos lecteurs qui désireraient en prendre connaissance à l'ouvrage spécial dans lequel l'auteur les a développés, ouvrage intitulé : *Études sur la stabilité des machines locomotives en mouvement.*

Au chemin de l'Est, on a appliqué aux machines à cylindres extérieurs des contre-poids dont les dimensions ont été fournies par M. Lechatelier lui-même ; on lui avait donné les éléments du calcul relevés sur les machines.

Depuis, l'expérience ayant démontré que des contre-poids un peu moins lourds étaient suffisants pour neutraliser les actions perturbatrices, on s'est borné à appliquer, à l'opposé des manivelles, des contre-poids dont le moment est égal à celui des pièces (piston, tige, tête et bielle) qui produisent la perturbation, sans tenir compte de l'écartement des cylindres. Le poids en serait égal, à peu près, aux trois quarts de ce qu'il faudrait d'après la théorie de M. Lechatelier.

Un certain nombre de machines, pour lesquelles on a laissé toute latitude aux constructeurs, ont même des contre-poids qui ne pèsent que la moitié de ce qu'il faudrait rigoureusement ; ces machines ont néanmoins une stabilité suffisante.

Il est donc établi que les contre-poids sont indispensables, mais qu'on peut les faire moins lourds que ne l'indique la théorie de M. Lechatelier.

Au chemin d'Orléans toutes les pièces animées d'un mouvement circulaire sont équilibrées directement, mais on n'équilibre que la moitié du poids des pièces animées d'un mouvement horizontal.

On a prétendu que l'usage des contre-poids calculés par les méthodes de M. Lechatelier augmentait l'usage des bandages. De nombreuses expériences ont été faites au chemin de fer de l'Est pour s'assurer de l'exactitude du fait. *Il est résulté de ces expériences que les bandages s'usent également, que l'on emploie ou qu'on n'emploie pas le contre-poids de M. Lechatelier.*

Jeu de la coulisse. — M. Philipps, ingénieur des mines, a soumis au calcul le jeu de la coulisse. Voici les conclusions auxquelles cette étude l'a conduit :

Dans la coulisse ordinaire, c'est-à-dire celle dont la concavité est tournée vers l'essieu moteur :

1° En déplaçant la coulisse, c'est-à-dire en fixant le levier de relevage aux crans successifs de son secteur, de manière à faire varier la position du coulisseau qui mène le tiroir, depuis l'extrémité de l'arc qui forme la coulisse jusqu'à son milieu, on réduit de plus en plus l'admission, et, par conséquent, on fait varier la détente.

2° En même temps que l'admission diminue pour les divers crans de la détente, l'avance à l'échappement et la compression, ou l'étendue de la course rétrograde pendant laquelle l'échappement est supprimé, augmentent en même temps que l'ouverture maxima des lumières diminue, de telle sorte que l'admission est de plus en plus étranglée.

3° Lorsqu'on se donne la condition, la plus favorable de toutes celles qu'on peut choisir *à priori*, que l'avance linéaire variera de la même manière, pour chaque face du piston, lorsqu'on passera par les divers crans de détente du point mort au cran de la plus forte admission, le rayon de courbure de la coulisse doit être exactement égal à la longueur des barres d'excentrique.

4° Lorsque les barres d'excentrique sont *croisées*, l'avance linéaire diminue au fur et à mesure qu'on augmente la détente, c'est-à-dire qu'on rapproche le coulisseau du point mort. — Lorsque les barres d'excentrique sont *droites*, c'est-à-dire non croisées, l'inverse a lieu, l'avance linéaire augmente au fur et à mesure que la détente est plus prolongée ou l'admission moins étendue. (On considère les barres comme *croisées* lorsque, la manivelle motrice étant tournée du côté opposé à la coulisse, les projections des barres d'excentrique sur le plan vertical *se croisent*, et *vice versâ;* elles sont *droites*, ou non croisées, lorsque, la manivelle étant dans la même position, elles se projettent de part et d'autre de l'axe de la distribution *sans se croiser*).

5° Toutes choses égales d'ailleurs, le système des barres croisées donne des admissions un peu plus longues que celui des barres droites; toutefois, quand on marche avec beaucoup de détente, le contraire peut quelquefois arriver. — Les barres droites

donnent plus d'avance à l'échappement et plus de compression.

6° La longueur de la coulisse n'a aucune influence sensible sur la durée de l'admission, sur l'avance à l'échappement et sur la compression, lorsque l'on compare des positions correspondantes du levier de relevage; seulement, lorsqu'on diminue sa longueur, elle prend des inclinaisons plus fortes, le mouvement du coulisseau se trouve gêné, et il peut y avoir quelques perturbations dans la marche du tiroir; il y a donc intérêt à donner une assez grande longueur à la coulisse, lorsque cela est possible.

7° La longueur de la bielle de suspension de la coulisse n'a jamais qu'une faible influence sur la distribution lorsqu'on se tient dans les limites actuellement employées; il n'y a pas d'avantage bien marqué à la porter au delà de $0^m,40$ à $0^m,50$. — Cependant, lorsqu'on n'est pas gêné par le manque de place, il convient de la maintenir aussi longue que possible pour diminuer le jeu du coulisseau dans la coulisse; elle doit être perpendiculaire à l'axe du système de la distribution et le rencontrer lorsqu'elle est dans sa position moyenne, à une distance du centre de l'essieu égale à la longueur de la barre d'excentrique; l'influence de la position du point d'attache de la bielle de suspension sur la coulisse, à l'extrémité supérieure ou inférieure, ou bien au milieu, est négligeable, car il n'en résulte que de petites perturbations dans le sens vertical, qui sont négligeables quant à la marche du tiroir.

8° La dimension du rayon d'excentricité n'influe que de quantités tout à fait négligeables sur la durée de l'admission, toutes choses égales d'ailleurs, mais elle influe sur l'ouverture maxima des lumières, qui varie, pour tous les crans de la détente, à peu près proportionnellement au rayon d'excentricité.

9° En augmentant l'angle de calage des excentriques, on diminue la durée de l'admission et on augmente la détente, surtout dans le voisinage de la pleine admission, mais en même temps on diminue les ouvertures maxima d'introduction; — en donnant à l'excentrique de la marche en arrière un angle de calage plus petit que celui de la marche en avant, on peut pousser la détente plus loin qu'avec les angles symétriques, sans nuire à la pleine admission. En détruisant la symétrie des angles de calage, on trouble les con-

ditions de la distribution pour la marche en arrière ; cela n'a pas d'inconvénient pour les machines locomotives lorsqu'elles ne sont pas destinées, comme cela a lieu cependant dans quelques cas, à marcher tantôt en avant, tantôt en arrière ; il faudrait alors conserver la symétrie du calage des excentriques ; il en serait de même pour les machines d'extraction employées sur les mines.

Les règles qui précèdent s'appliquent également à la coulisse renversée, sauf pour ce qui concerne l'avance à l'admission, qui reste sensiblement la même, le rayon de cette coulisse étant égal à la longueur de la bielle qui commande la tige du tiroir. Cette disposition n'offre pas, d'ailleurs, d'avantage pour la longueur de la détente et l'ouverture maxima des tiroirs.

Règles de M. Lechatelier. — Il nous reste maintenant à faire connaître les règles proposées par M. Lechatelier pour guider les ingénieurs qui s'occupent de la construction des locomotives. Ces règles, toutes fort simples, sont les suivantes :

1° Pour éviter de fatiguer le mécanisme par une trop grande vitesse d'oscillation des pistons, *le nombre de tours des roues motrices par seconde doit être compris entre* 2 1/2 *et* 3. Ainsi soient :

V la vitesse de marche réelle que doit atteindre la machine en kilomètres par heure ;

D le diamètre des roues motrices en mètres, nous aurons :

$$V = \frac{1}{1000} \times 3600 \times \pi D \times \begin{Bmatrix} 2\frac{1}{2} \\ 3 \end{Bmatrix}$$

d'où

$$D = \begin{Bmatrix} 0{,}036 \\ 0{,}029 \end{Bmatrix} V.$$

2° *Les dimensions des cylindres doivent être telles, que l'effort moyen de traction exercé au pourtour des roues motrices soit égal à la résistance totale qu'éprouve le train, machine et tender compris, à la vitesse et sur le profil considérés.* Cette résistance, déduite de la formule empirique de Wyndham-Harding (page 660), est :

$$R = 2^k{,}72 + 0{,}094\,V + 0{,}00484\,\frac{NV^2}{T} + 1000\,i\,;$$

On calculera, au moyen de cette formule, la résistance par tonne du convoi. On augmentera de 25 pour 100 ou de 20 pour 100 cette quantité, suivant qu'on s'occupera d'un train de voyageurs ou de marchandises, pour tenir compte des résistances additionnelles dues aux frottements de la machine et à l'action de la vapeur. Le résultat multiplié par le poids brut du convoi exprimé en tonnes donnera la valeur de la résistance cherchée.

D'autre part, soient :

p la pression moyenne utile de la vapeur en kilogrammes par centimètre carré :

d le diamètre des pistons en centimètres;

l la course des pistons en centimètres;

D le diamètre des roues motrices également en centimètres :

L'effort moyen utile exercé par la vapeur au pourtour des roues motrices sera :

$$p\frac{d^2 l}{D}$$

et l'effort moyen par tonne du train, machine et tender compris :

$$p\frac{d^2 l}{DT}$$

Égalant cette quantité à la résistance déterminée, comme nous l'avons indiqué précédemment, on en déduira la valeur de $d^2 l$. Il suffira d'un ou deux tâtonnements pour établir entre d et l le rapport convenable.

La chaudière étant timbrée à 7 atmosphères, on peut admettre pour pression moyenne utile $4^{atm.},50$ ($4^{k},64$ par centimètre carré). Ce chiffre tient compte de la diminution de pression due aux frottements de la vapeur dans les conduits, à la détente, à l'échappement et à la compression ; il représente le maximum qu'on puisse obtenir quand la machine travaille avec une admission aussi prolongée que le permet la distribution.

Il faudra donc, dans l'expression $p\frac{d^2 l}{D}$, faire p égal à $4^{kil.},64$.

3° *L'adhérence sera supposée égale à* $\frac{1}{6}$, proportion qui paraît généralement admise ; en multipliant par 6 l'effort de traction calculé précédemment, on aura la charge que doivent supporter les roues motrices. Si cette charge est inférieure à 12 tonnes, on ne couplera pas les roues ; entre 12 et 20 tonnes on en couplera deux paires, au-dessus de 20 tonnes on couplera les trois paires.

4° *Le rapport de la surface de chauffe* S *du foyer à celle* S' *des tubes doit être :* $\frac{S}{S'} = \frac{1}{10}$. Dans les machines anglaises, ce rapport est assez généralement admis ; en France, toutefois, les rapports adoptés, même dans les machines récemment construites, sont de 1 : 12 (machines à voyageurs), 1 : 13 (machines Crampton), et 1 : 14 ou 1 : 15 (machines à marchandises).

5° Le rapport entre la surface de chauffe totale et le volume de vapeur dépensé par tour de roue étant égal à $\frac{S+S'}{\pi d^2 l} = \frac{1}{\pi}\frac{S+S'}{d^2 l}$, *la partie variable de ce rapport* $\frac{S+S'}{d^2 l}$ *doit être égale à l'unité ou s'en rapprocher beaucoup*, S et S' étant exprimés en mètres carrés, *d* et *l* en décimètres. Dans les machines anglaises, M. Lechatelier a trouvé pour la valeur de ce rapport 1,15. Cet excès tient à ce que les Anglais, qui ne font pas usage du tuyau d'échappement à orifice variable, donnent à leurs machines un excès de surface de chauffe afin de ne jamais manquer de vapeur.

La moyenne pour un certain nombre de machines françaises déjà anciennes, qui généralement ont une surface de chauffe trop faible, est de 0,93.

Mais, dans les machines récemment construites, nous trouvons qu'on s'est beaucoup rapproché du rapport conseillé par M. Lechatelier.

Ainsi il est :

Dans les machines à voyageurs fournies en 1856 à la Compagnie de Lyon par MM. Cail et Cie, de. . . . . $\frac{90}{96}$

Dans celles fournies la même année par M. Gouin à la Compagnie du Midi, de. . . . . $\frac{96}{99}$

Dans les machines à marchandises du chemin d'Orléans construites en 1855, de. . . . . $\frac{112}{114}$

Dans celles du Bourbonnais construites en 1856, de. . . $\frac{172}{131}$
Dans les Crampton, il est de. . . . . $\frac{100}{70}$
Dans les Engerth à marchandises, de. . . . . $\frac{196}{165}$
Dans les machines à voyageurs d'Orléans, où la surface de chauffe est peut-être un peu faible, il n'est que de. . . . $\frac{79}{96}$

Résolvant l'équation $\frac{pd2l}{DT} = 2^k,72 + 0,094\,V$

$$+ 0,00484 \frac{NV^2}{T} + 1000\,i$$

établie par M. Lechatelier par rapport à T, nous avons calculé la charge que pourraient traîner les machines de l'Est de différents modèles. Mais nous avons trouvé qu'en augmentant la résistance de 20 ou de 25 pour 100, comme l'indique M. Lechatelier, la charge calculée s'écartait considérablement de la charge réellement traînée. D'un autre côté, en appliquant la formule *sans tenir compte de cette augmentation*, nous avons dressé le tableau suivant, qui donne des résultats plus satisfaisants. Nous voyons, en étudiant ce tableau, que la charge remorquée par les machines à marchandises 0,1 à 0,62 excède très-sensiblement la charge calculée. Cela tient à ce que, ces machines étant déjà anciennes, on ne craint pas de les soumettre à une fatigue excessive. Pour les machines 0,63 à 0,241 au contraire, la charge réelle diffère peu de la charge calculée. Mêmes observations pour les machines mixtes.

Dans un second tableau en usage dans le service nous avons indiqué le nombre maximum de waggons par machines eu égard à leur puissance et au règlement.

CHEMINS DE

ETAT DES DIMENSIONS DES MACHINES A

CALCUL DE LA CHARGE BRUTE QUE PEUVENT REMORQUER LES DIVERSES MACHINES

ET INDICATION DES CHARGES BRUTES

SYSTÈME des MACHINES.	NOMBRE.	NUMÉROS des MACHINES.	TIMBRE.	PRESSION moyenne utile.	DIAMÈTRE DES ROUES.	DIAMÈTRE DES CYLINDRES.	COURSE DES PISTONS.	SURFACE DE CHAUFFE.	POIDS de la machine et du tender en charge moyenne.	PROFIL avec rampe: CHARGE BRUTE calculée avec la machine et le tender.	PROFIL avec rampe: CHARGE BRUTE CALCULÉE déduction faite du poids de la machine et du tender.
									tonn.	tonn.	tonn.
Machines à marchandises. (225)	32	0,1 à 0,32	6	4	1,42	0,38	0,61	85	35	259	204
	30	0,33 à 0,62	6	4	1,42	0,42	0,61	98	37	292	255
	51	0,63 à 0,119	7	4,64	1,42	0,44	0,60	100	42	366	324
	87	0,120 à 0,241	7	4,64	1,34	0,42	0,61	95	42		
Machines mixtes. (155)	81	91 à 135 142 à 157 304 à 333	7	4,64	1,68	0,42	0,56	85	40	258	217
	50	184 à 222 243 à 258	7	4,64	1,68	0,42	0,56	99	42		
	20	225 à 242	7	4,64	1,45	0,42	0,60	99	44	309	268
	4	300 à 305	6	4	1,35	0,34	0,55	65	31	169	138

FER DE L'EST

MARCHANDISES ET DES MACHINES MIXTES

SELON LES-DIVERS PROFILS, D'APRÈS LA FORMULE $T = \frac{\frac{p d^2 l}{D} - 0{,}00181\, N V^2}{(2.72 + 0.094 V + 1000\, i)}$

RÉELLEMENT REMORQUÉES EN HIVER ET EN ÉTÉ.

NORMAL de 0^m005.		PROFIL NORMAL avec rampe de 0^m006 à 7^m.				PROFIL EXCEPTIONNEL avec rampe de 0^m01.				PROFIL EXCEPTIONNEL avec rampe de 0^m012.			
CHARGE BRUTE remorquée en été.	CHARGE BRUTE remorquée en hiver.	CHARGE BRUTE calculée avec la machine et le tender.	CHARGE BRUTE CALCULÉE déduction faite du poids de la machine et du tender.	CHARGE BRUTE remorquée en été.	CHARGE BRUTE remorquée en hiver.	CHARGE BRUTE calculée avec la machine et le tender.	CHARGE BRUTE CALCULÉE déduction faite du poids de la machine et du tender.	CHARGE BRUTE remorquée en été.	CHARGE BRUTE remorquée en hiver.	CHARGE BRUTE calculée avec la machine et le tender.	CHARGE BRUTE CALCULÉE déduction faite du poids de [illegible] machine et du tender.	CHARGE BRUTE remorquée en été.	CHARGE BRUTE remorquée en hiver.
tonn.	tonn.	tonn.	tonn.	tonn.	tonn	tonn.	tonn.	tonn.	tonn.	tonn.	tonn.	tonn.	tonn.
270	252	194	159	225	198	160	125	180	162	145	108	162	135
315	288	237	200	252	234	197	160	198	180	174	157	180	153
342	315	298	256	279	252	247	205	225	198	217	175	198	171
270	254	202	162	207	162	170	129	162	126	150	109	135	108
315	270	251	210	243	207	209	168	207	162	190	149	180	135
180	144	138	107	144	108	»	»	»	»	»	»	»	»

CHARGE DES TRAINS DE MARCHANDISES

NATURE des MACHINES.	NUMÉROS.	VITESSE kilométrique A L'HEURE.	PROFIL NORMAL[1] à rampes de 5 millimètres.						PROFIL à rampes	
			PUISSANCE de la machine en tonnes		NOMBRE de waggons chargés de 5 tonn.		NOMBRE de waggons vides au maximum.		PUISSANCE de la machine en tonnes.	
			Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.
Machines à marchandises.	0,1 à 0,32	25 à 30	270	252	30	28	45	40	225	198
	0,33 à 0,62	Id.	315	288	35	32	50	44	252	234
	0,63 à 0,107 0,114 à 0,119 0,120 à 0,163 0,212 à 0,241	Id.	342	315	38	35	50	48	279	252
Mach. Engerth.	0,164 à 0,188	20 à 25	540	495	60	55	65	65	»	»
Machines mixtes.	91 à 135 142 à 157 304 à 333 189 à 222 245 à 258	25 à 30	270	234	30	26	38	35	207	162
	223 à 242	Id.	315	270	35	30	45	42	243	207
	300 à 305	Id.	180	144	20	20	27	27	144	108

Le waggon chargé de 5 tonnes est pris pour unité. — Le waggon chargé de 10 tonnes vaut 1 1/2. — Le waggon vide vaut 1/2 waggon. — Jusqu'à 6 tonnes 5 de

[1] Ce profil est celui des lignes de Paris à Strasbourg, Bâle à Wissembourg, Nancy à Forbach, Metz à Thionville, Flamboin à Montereau, Blesmes à Donjeux, Einvaux à Épinal.

FER DE L'EST

SELON LA PUISSANCE DES MACHINES

NORMAL [2] de 6 et 7 millimètres.				PROFIL EXCEPTIONNEL [3] à rampes de 10 millimètres.						PROFIL EXCEPTIONNEL [4] à rampes de 12 millimètres.					
NOMBRE de waggons chargés de 5 tonn.		NOMBRE de waggons vides au maximum.		PUISSANCE de la machine en tonnes.		NOMBRE de waggons chargés de 5 tonn.		NOMBRE de waggons vides au maximum.		PUISSANCE de la machine en tonnes.		NOMBRE de waggons chargés de 5 tonn.		NOMBRE de waggons vides au maximum.	
Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.
25	22	38	30	180	162	20	18	30	25	162	135	18	15	23	22
28	26	44	36	198	180	22	20	33	30	180	153	20	17	28	24
31	28	46	40	225	198	25	22	35	32	198	171	22	19	32	27
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
25	18	30	25	162	126	18	14	25	20	135	108	15	12	25	18
27	23	31	28	207	162	23	18	32	25	180	155	20	15	27	22
16	12	27	22	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

chargement, on comptera une unité; de 6t,5 à 9 tonnes, une unité et un tiers; de 9 à 10 tonnes, une unité et demie.

[2] Ce profil est celui des lignes de Paris à Mulhouse, Gray à Chalindrey, Donjeux à Chaumont.
[3] Ce profil est celui des lignes d'Épernay à Reims, Châlons à Mourmelon, Mulhouse à Thann.
[4] Ce profil est celui des lignes de Blainville à Einvaux, Thionville à Luxembourg.

CHEMIN DE

CHARGE DES TRAINS DE MARCHANDISES

NATURE des MACHINES.	NUMÉROS.	VITESSE kilométrique A L'HEURE.	PROFIL NORMAL[1] à rampes de 5 millimètres.						PROFIL à rampes	
			PUISSANCE de la machine en tonnes.		NOMBRE de waggons chargés de 5 tonn.		NOMBRE de waggons vides au maximum.		PUISSANCE de la machine en tonnes.	
			Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.
Machines à marchandises.	0,1 à 0,32	25 à 30	270	252	30	28	45	40	225	198
	0,33 à 0,62	Id.	315	288	35	32	50	44	252	234
	0,63 à 0,107									
	0,114 à 0,119									
	0,120 à 0,163	Id.	342	315	38	35	50	48	279	252
	0,212 à 0,241									
Mach. Engerth.	0,164 à 0,188	20 à 25	540	495	60	55	65	65	»	»
Machines mixtes.	91 à 135									
	142 à 157									
	304 à 333	25 à 30	270	234	30	26	38	35	207	162
	189 à 222									
	243 à 258									
	223 à 242	Id.	315	270	35	30	45	42	243	207
	300 à 303	Id.	180	144	20	20	27	27	144	108

Le waggon chargé de 5 tonnes est pris pour unité. — Le waggon chargé de 10 tonnes vaut 1 $^1/_2$. — Le waggon vide vaut $^1/_2$ waggon. — Jusqu'à 6 tonnes 5 de

[1] Ce profil est celui des lignes de Paris à Strasbourg, Bâle à Wissembourg, Nancy à Forbach, Metz à Thionville, Flamboin à Montereau, Blesmes à Donjeux, Einvaux à Épinal.

FER DE L'EST

SELON LA PUISSANCE DES MACHINES

NORMAL [2] de 6 et 7 millimètres.				PROFIL EXCEPTIONNEL [3] à rampes de 10 millimètres.						PROFIL EXCEPTIONNEL [4] à rampes de 12 millimètres.					
NOMBRE de waggons chargés de 5 tonn.		NOMBRE de waggons vides au maximum.		PUISSANCE de la machine en tonnes.		NOMBRE de waggons chargés de 5 tonn.		NOMBRE de waggons vides au maximum.		PUISSANCE de la machine en tonnes.		NOMBRE de waggons chargés de 5 tonn.		NOMBRE de waggons vides au maximum.	
Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.	Été.	Hiver.
25	22	38	30	180	162	20	18	30	25	162	135	18	15	23	22
28	26	44	36	198	180	22	20	33	30	180	153	20	17	28	24
31	28	40	40	225	198	25	22	35	32	198	171	22	19	32	27
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
25	18	30	25	162	126	18	14	25	20	135	108	15	12	25	18
27	23	31	28	207	162	23	18	32	25	180	135	20	15	27	22
16	12	27	22	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

chargement, on comptera une unité; de 6t,5 à 9 tonnes, une unité et un tiers; de 9 à 10 tonnes, une unité et demie.

[2] Ce profil est celui des lignes de Paris à Mulhouse, Gray à Chalindrey, Donjeux à Chaumont.

[3] Ce profil est celui des lignes d'Épernay à Reims, Châlons à Mourmelon, Mulhouse à Thann.

[4] Ce profil est celui des lignes de Blainville à Linvaux, Thionville à Luxembourg.

Du travail développé par les machines locomotives dans leur service ordinaire. — Si les machines locomotives travaillaient dans les mêmes conditions que les machines fixes ordinairement employées dans l'industrie, les plus puissantes d'entre elles ne pourraient développer un travail supérieur à 20 et 25 chevaux.

Mais, d'une part, elles fonctionnent toujours à une pression très-élevée, et, d'autre part, leurs pistons marchent à des vitesses bien supérieures à celles qui sont généralement admises. Aussi n'exagérons-nous pas en affirmant que les locomotives actuellement en usage sur la plupart des chemins de fer développent aisément un travail soutenu de 200 à 300 chevaux.

Des expériences faites sur le chemin de Lyon dans les mois de novembre et de décembre 1851 viennent démontrer le fait que nous avançons.

Dans ces expériences on avait intercalé, entre le tender et la première voiture, un dynamomètre à ressort qui traçait des diagrammes représentant le travail exercé par la machine sur le train.

On a multiplié ce travail par le coefficient 1,15 pour tenir compte des résistances dues à l'action de la vapeur sur le mécanisme, et l'on a ajouté 500 kilogrammètres par mètre parcouru par la machine, qui exige un effort de traction de 500 kilogrammes sur niveau.

Divisant le nombre total de kilogrammètres ainsi obtenus par le temps de marche, le quotient a donné le travail par seconde en kilogrammètres.

Six expériences sur des trains directs marchant à la vitesse de 45 kilomètres à l'heure, le poids du train étant de 107 tonnes, ont donné :

294 chevaux pour le travail total ;

161 chevaux pour le travail employé à remorquer les voitures.

Les quatre autres expériences ont été faites sur des trains-omnibus marchant à la vitesse moyenne de 38 kilomètres et demi à l'heure, avec une charge de voitures de 88 tonnes. Elles ont donné 248 chevaux pour le travail total, et 134 chevaux pour le remorquage des voitures seulement.

La consommation moyenne, par cheval et par heure, n'a été que de $2^k,05$ de coke, ce qui semblerait indiquer que *les machines locomotives travaillent, sous le rapport de l'économie du combustible, dans des conditions aussi avantageuses que la plupart des machines fixes sans condensation.*

Les expériences faites par M. Polonceau et relatées pages 689 à 703 confirment les résultats obtenus au chemin de Lyon en ce qui concerne la puissance des machines.

CHAPITRE XVII

DES NOUVEAUX SYSTÈMES ADOPTÉS OU PROPOSÉS DANS LE BUT DE PERFECTIONNER LA VOIE OU LE MATÉRIEL DES CHEMINS DE FER.

Nous avons décrit toutes les parties qui composent un chemin de fer avec son matériel d'exploitation, le chemin se trouvant dans les conditions ordinaires. Il nous reste à nous occuper de plusieurs systèmes qui ont été essayés ou proposés, soit pour vaincre certaines difficultés propres à une ligne donnée, soit pour remplacer complétement les appareils actuellement en usage.

Parmi ces systèmes il en est quelques-uns qui ont été expérimentés sérieusement et reconnus réellement applicables au moins dans certains cas; nous les étudierons avec soin, et nous chercherons à en faire ressortir le mieux possible les avantages et les inconvénients. D'autres, au contraire, ne paraissent pas susceptibles d'emploi. Nous décrirons, parmi ces derniers, ceux dont le public s'est le plus occupé, et nous en signalerons les défauts.

Les ingénieurs qui sont à la tête des grandes entreprises de chemins de fer sont continuellement en butte aux attaques des inventeurs, qui les accusent de repousser systématiquement leurs idées par routine ou même par un sentiment mesquin de jalousie. Ces ingénieurs sont sans doute peu disposés à faire sur une grande échelle des essais qui, s'ils ne sont pas couronnés de succès, peuvent compromettre gravement leur réputation et occasionnent de grands embarras ou de grandes pertes aux compagnies qui leur ont accordé leur confiance; mais ils sont loin aussi de rejeter les procédés nou-

veaux qui peuvent être essayés sans trop de difficultés et qui leur semblent rationnels. Les inventeurs, malheureusement, sont, en très-grande majorité, entièrement étrangers à la théorie et à la pratique; les systèmes qu'ils proposent d'appliquer, si la pensée qui les a enfantés n'est contraire aux principes les plus élémentaires de la théorie, ne sont que la reproduction de systèmes abandonnés depuis longtemps, et c'est en vain que l'on chercherait à le leur faire comprendre. N'a-t-on pas vu d'ailleurs les meilleurs esprits, les hommes même les plus instruits, se tromper sur la portée de certaines inventions, en laisser échapper les plus grands défauts? Il n'en est pas de meilleure preuve que les rapports du savant M. Arago, à la Chambre, sur le système Arnoux. Ce système, *tel qu'il était alors*, donnait lieu à de sérieuses objections qui n'avaient pas frappé M. Arago[1]. Disons enfin, avec le rapporteur d'essais faits par ordre du gouvernement sur le frein Guérin, qu'en matière d'exploitation technique des objections légères ou même futiles en apparence peuvent constituer en pratique de véritables impossibilités.

Dans ce chapitre, après avoir démontré que l'air comprimé, l'air chaud et l'électro-magnétisme ne sauraient être employés avec avantage pour remplacer la vapeur dans les locomotives, après avoir prouvé aussi que les machines rotatives que l'on a souvent proposé d'employer pour imprimer directement le mouvement aux roues ne seraient pas d'un emploi avantageux, nous parlerons des essais faits sur le chemin de Sceaux pour supprimer, même au passage de courbes de petit rayon, les galets directeurs de M. Arnoux, et nous décrirons :

Le système Laignel, qui a pour but de faciliter le passage des courbes; — le nouveau waggon de M. Arnoux, disposé de manière à rendre les essieux à volonté parallèles ou convergents dans les courbes; le système Edmond Roy, devant, comme les systèmes Laignel et Arnoux, diminuer la résistance dans les courbes;

Les machines-locomotives Verpilleux, Flachat, Beugnot, Jouffroy et Séguier, ayant toutes pour objet de gravir de fortes pen-

[1] Telle, par exemple, l'impossibilité de construire des machines puissantes avec essieux indépendants.

tes tout en passant dans des courbes de petit rayon, et l'ingénieuse disposition essayée par MM. Ambergèr, Nicklès et Cassal pour augmenter au besoin l'adhérence des roues de locomotives au moyen de l'électricité.

Nous ferons connaître en peu de mots le système atmosphérique par compression de Pecqueur et le système éolique d'Andraud, puis nous décrirons l'appareil Giffard et le tiroir Jobin, la machine Belleville, et parlerons des essais faits sur l'appareil Dumery ou d'autres systèmes fumivores, et nous terminerons par ceux tentés pour employer les locomotives sur les routes ordinaires.

Locomotive à air comprimé de M. Andraud. — M. Andraud a imaginé de remplacer la vapeur par l'air comprimé. Sa machine est fort simple : elle consiste en un réservoir rempli d'air comprimé et un mécanisme composé de cylindres, pistons, bielles et manivelles comme le mécanisme des machines ordinaires. L'air comprimé introduit dans les cylindres fait marcher les pistons par sa pression. La provision de fluide moteur est renouvelée au moyen de réservoirs fixes placés de distance en distance, que l'on alimente économiquement en tirant parti de moteurs souvent improductifs, tels que des chutes d'eau ou des courants rapides.

Supposons que l'air soit comprimé dans le réservoir mobile à sept atmosphères, 1 mètre cube à sept atmosphères est capable de produire le même travail que 1 mètre cube de vapeur à la même pression. Mais l'eau qui, sous l'action de la chaleur, produira cette quantité de vapeur, occupe dans le tender un volume de 3 litres 50 centilitres seulement, volume qui est les 0,0035 de celui occupé par l'air, et le réservoir de la machine Andraud devra contenir deux cent quatre-vingt six fois celui d'un tender ordinaire pour pouvoir fournir le même parcours. Il serait donc excessivement lourd et volumineux. Afin d'obvier à cet inconvénient, M. Andraud a imaginé de porter la pression de l'air à trente atmosphères; mais alors le tender devrait être extrêmement résistant, ce qui le rendrait encore très-pesant.

L'emploi de l'air comprimé comme moteur dans les locomotives ne pourrait donc être avantageux, à cause de l'impossibilité d'emmagasiner dans le tender une quantité suffisante de force motrice

pour un trajet d'une certaine longueur, comme cela se fait aisément avec de l'eau.

Il semble qu'en employant l'air chaud on pourrait développer une plus grande puissance avec un réservoir d'un volume raisonnable; *toutefois, si Erickson est parvenu à se servir avec quelque succès de l'air chaud sur les bateaux à vapeur, ce n'est qu'à la condition d'employer des appareils volumineux et encombrants, ce qui exclut l'usage de ces appareils pour la locomotion.*

Quant à ce qui est de l'électro-magnétisme, il paraît moins encore que l'air chaud applicable aux machines locomotives comme moteur. « M. Becquerel, dans un rapport à l'Académie des sciences (année 1854, p. 854), dit que M. Jacobi, qui a fait une étude approfondie de l'emploi de l'électro-magnétisme dans l'industrie, a été conduit à cette conséquence, *que l'effet mécanique ou le travail des machines électro-magnétiques, vu les dépenses qu'exige leur entretien, est de beaucoup inférieur à celui des autres moteurs usuels, mais que ce n'est pas là le dernier mot de la science.* »

Dans leur traité de l'électro-magnétisme publié en 1856, MM. Becquerel et Edmond Becquerel s'expriment dans les termes suivants : « On n'est pas parvenu à construire économiquement de puissantes machines; on n'a utilisé que des électro-moteurs de peu de force pour faire tourner des tours et des métiers qui devaient marcher avec un mouvement rapide. »

M. Aristide Dumont, dans une note lue à l'Académie des sciences, en 1851, indiquait que la production de force électro-magnétique conduisait à une dépense de 20 francs par force de cheval et par heure, tandis que le coût du cheval avec une machine à vapeur dans les mêmes circonstances ne serait que d'environ 10 centimes !

M. Dumas enfin, dans un rapport à Son Excellence M. le ministre de l'instruction publique sur un concours ouvert pour l'obtention d'un prix de 50,000 francs fondé par Sa Majesté l'Empereur en faveur de celui qui aurait trouvé une application nouvelle d'une haute importance de l'électricité, s'exprime dans les termes suivants :

« S'agit-il d'animer les organes de machines puissantes, de remplacer la vapeur comme moteur, l'électricité ne paraît offrir, dans l'état de la science, aucune chance de succès. Il faut qu'une grande

découverte vienne révéler dans ce fluide des qualités ignorées pour qu'on puisse en espérer un emploi sérieux pour ce grand objet. »

Machines rotatives. — *On pense assez généralement qu'il y aurait un grand avantage à transmettre directement le mouvement de rotation aux roues motrices des locomotives au moyen de machines à vapeur rotatives. C'est une erreur qu'il importe de détruire.* Les essais tentés jusqu'à ce jour pour employer ces machines laissent peu d'espoir de parvenir à rendre tout à fait industriel ce mode de recueillir le travail de la vapeur même dans les machines fixes[1].

Cette disposition de machine, qui paraît simple au prèmier abord, est en réalité assez compliquée; elle occasionne beaucoup de frottement par suite du grand développement de la surface frottante du piston et de celle de l'obturateur qui sépare le cylindre en deux compartiments, dont l'un communique avec la chaudière et l'autre avec l'atmosphère dans les machines à haute pression, ou avec le vide dans celles à basse pression, obturateur qui ne se déplace que pour laisser passer le piston.

Un autre inconvénient inhérent à la plupart des machines à rotation immédiate consiste dans l'uniformité de vitesse du piston; par suite de cette uniformité la vapeur manque de temps pour entrer et surtout pour sortir à chaque tour de la capacité dans laquelle elle agit. C'est là un grave défaut qui serait sensible surtout dans des machines marchant à de grandes vitesses comme les locomotives.

Waggons du chemin de Sceaux à roues folles avec essieux parallèles. — Des essais ont été faits, l'année dernière, sur le chemin de Sceaux, en supprimant dans les waggons articulés de M. Arnoux le galet directeur et rendant les essieux parallèles, mais en conservant les roues mobiles sur l'essieu et l'attelage rigide. Les waggons ainsi modifiés auraient marché, assure-t-on, à de grandes vitesses dans des courbes de petit rayon. Si ces résultats se confirmaient et s'il était bien démontré que ces waggons peuvent circuler réellement sans danger et sans un grand accroissement de résis-

[1] Cours de M. Thomas à l'école centrale des arts et manufactures.

tance dans les courbes de petit rayon, on aurait obtenu ainsi la solution partielle d'une des plus grandes difficultés de l'important problème qui préoccupe aujourd'hui les ingénieurs, celui du passage des montagnes, même d'une grande hauteur, au moyen des chemins de fer.

Système Laignel. — M. Laignel, pour diminuer la résistance au passage des courbes, remplace dans les parties sinueuses du chemin le rail extérieur par un rail plat à rebord, afin que les waggons ou machines reposent sur ce rail par le bourrelet des roues et sur le rail intérieur par la jante, ainsi que l'indique la figure 656.

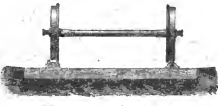


Fig. 656.

Toutes les courbes, dans ce système, doivent avoir un rayon constant de 50 mètres, en sorte que, dans le cas des tracés à grandes courbes, les portions circulaires sont remplacées par un nombre suffisant de portions droites dont le raccordement a lieu au moyen d'arcs ayant un rayon constant de 50 mètres.

M. Laignel, en adoptant cette disposition pour la voie, a eu pour but de compenser, par la différence de diamètre des roues jumelles, la différence de longueur des deux courbes extérieures et intérieures, et, comme les roues, celles des waggons du moins, sont à peu près toutes de même diamètre avec un bourrelet de hauteur constante, il a fallu, pour obtenir cette compensation, adopter également un rayon de courbure constant. — Des expériences nombreuses ont prouvé que la résistance, dans le système Laignel, était en effet sensiblement diminuée; mais cela doit tenir non-seulement à la réduction opérée dans le frottement à la jante, mais encore et surtout à ce que ce système a pour propriété de diriger de lui-même le chariot en ligne courbe et de le faire tourner sans qu'il

soit nécessaire pour cela que le rebord appuie contre la face verticale du rail, et qu'ainsi se trouve évité, dans de certaines limites de vitesse, le frottement dû à la force centrifuge.

La plus grave objection faite au système Laignel est que, s'il diminue incontestablement le travail nécessaire pour opérer un certain changement de direction, il laisse encore subsister une résistance qui devient excessive par unité de distance parcourue dans des courbes dont le rayon ne dépasse pas 50 mètres. Aussi a-t-on employé ce système avec un avantage marqué sur des chemins où l'on marche à de petites vitesses avec des chevaux, comme par exemple sur ceux qui, à la surface du sol, servent à l'exploitation des mines d'Anzin ou au transport des produits des forges d'Hayange; mais on n'en a jamais fait usage sur de grandes lignes parcourues par des locomotives.

Le système Laignel soulève d'autres objections encore :

1° Le bourrelet des roues, qui ne frotte que dans les courbes, et le cercle, qui frotte dans toute l'étendue du parcours des parties rectilignes et des parties courbes, s'usent inégalement, d'où il résulte un changement dans le rapport du diamètre des roues avec ou sans rebord quand les roues sont usées, et par suite une augmentation de frottement dans des courbes dont le rayon a été calculé dans l'hypothèse de roues neuves.

2° A l'entrée et à la sortie des courbes, la partie antérieure ou postérieure du waggon se trouvant dans la courbe quand l'autre partie est en ligne droite, il arrive que trois roues reposent sur leur cercle et une seule sur le bourrelet. De là un frottement de glissement momentané d'autant plus grand que le rayon des courbes Laignel est plus petit. Représentons-nous en effet les deux roues de devant dans la courbe (fig. 637), et celles de derrière en ligne

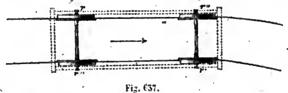


Fig. 637.

droite. La roue r'' seule repose sur son bourrelet, les roues r, r', r'''

reposent sur leurs jantes. La roue r''', devant suivre la roue r et roulant sur un même diamètre, fait nécessairement le même nombre de tours; mais alors la roue r, solidaire avec la roue r''' comme la roue r' l'est avec la roue r'', fait aussi un nombre de tours égal. Or ceci ne peut avoir lieu sans que cette roue, qui doit suivre la roue r'', marchant sur son bourrelet, ne glisse en avant. Veut-on supposer la roue r faisant un plus grand nombre de tours pour suivre la roue r'' sans glisser, c'est alors la roue r''' qui, marchant plus vite que la roue r' en tournant, glisse en arrière.

Waggon articulé à deux fins. — Le waggon à deux fins est exactement le même que celui employé actuellement sur le chemin de Sceaux pour tout ce qui concerne l'articulation.

Il a de plus que le premier un appareil entier de traction et de percussion compris dans l'épaisseur du châssis, en tout semblable à celui des waggons à essieux parallèles, *avec lesquels il est destiné à être attelé au besoin.*

Dans le système parallèle, la traction se communique aux essieux par les plaques de garde; il a donc fallu les conserver ici. Cependant, pour ne pas faire obstacle à la convergence, ces plaques de garde sont plus ouvertes dans la partie inférieure pour laisser le jeu à l'essieu, tandis qu'elles forment coulisse là où elles correspondent à la glissière circulaire.

Dans le système parallèle, les tampons de choc font partie de l'appareil de traction; il y a donc obligation de les appliquer tels qu'ils sont; cependant, comme dans les petites courbes ils occasionneraient des résistances par la trop forte pression des tampons intérieurs, M. Arnoux y a remédié en mettant les ressorts à tourillons. Le ressort fait ainsi l'effet d'un balancier, ou mieux d'un palonnier dont les deux branches se partagent l'effort dans toutes les positions.

Il est à remarquer que, dans le système parallèle, la traction par l'extrémité du châssis devient excentrique quand on cesse d'être en ligne droite, et que cela offre quelque danger avec des roues libres; l'attelage sur la cheville ouvrière correspondant à l'axe de la voie est donc plus convenable. M. Arnoux s'est rappelé cette disposition en faisant traverser la chevillo ouvrière

par la tige de traction, et en la mettant à charnière tout contre cette cheville. Au lieu d'un simple passage dans la traverse extrême, on y a pratiqué une mortaise pour laisser le jeu de la tige de traction.

Système Edmond Roy. — M. Edmond Roy propose un nouveau système de matériel dans lequel, comme dans le matériel articulé de M. Arnoux, les roues sont indépendantes et les essieux mobiles, de manière à pouvoir converger dans les courbes.

Ce qu'il y a de plus remarquable dans les waggons de M. Edmond Roy, c'est surtout la disposition des essieux. En voici la description : tous les waggons sont à six roues. Les coussinets des essieux extrêmes peuvent glisser dans leurs boîtes à graisse. Ceux de l'essieu du milieu sont fixés dans leur boîte à graisse comme dans le matériel actuel, ou, s'ils sont mobiles, ils ne peuvent se déplacer que dans la direction de l'essieu.

Ainsi que l'indique la figure 638, les faces verticales des cous-

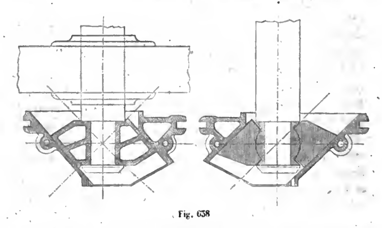


Fig. 638

sinets extrêmes ne sont pas, comme dans les coussinets ordinaires, parallèles au plan vertical passant par l'axe de l'essieu et du coussinet; elles sont obliques par rapport à ce plan de 0 à 45°, suivant : 1° l'écartement des essieux; 2° la position du coussinet sur l'essieu. Les faces de la boîte à graisse ont la même inclinaison que les faces de ce coussinet.

C'est l'essieu du milieu qui sert de point d'appui pour que les deux essieux extrêmes soient entraînés à droite ou à gauche par l'action du rail sur le boudin des roues, suivant le sens de la courbe. Les coussinets, ayant même longueur que leurs tourillons, obéissent au mouvement qui leur est imprimé par l'essieu, en glissant dans leur boîte à graisse. Les plans obliques sur lesquels le glissement s'opère étant pour chaque extrémité d'un même essieu placés en sens inverse, il en résulte, ainsi que l'indique l'épure, que les extrémités des essieux extrêmes, situées : 1° extérieurement à la courbe parcourue, s'écartent de celle de l'essieu du milieu; 2° intérieurement, se rapprochent, et qu'enfin ils passent, dans ce mouvement de position parallèle à celle de l'essieu du milieu pour la marche en ligne droite, aux positions convergentes ou normales à l'élément de courbe sur lequel se trouve chaque essieu.

Pour que les roues soient indépendantes l'une de l'autre, les essieux sont brisés.

L'attelage peut se faire comme dans le matériel ordinaire, en conservant les tampons de choc; ou mieux encore, d'après M. Edmond Roy, en supprimant ces tampons pour les remplacer par un tampon unique placé à l'extrémité de la tige de traction, l'attelage ayant lieu au moyen d'une disposition particulière un peu compliquée qu'il serait trop long de décrire ici.

Les essieux des machines auraient, en partie du moins, le même jeu que ceux des waggons. Le milieu des essieux ne se déplaçant qu'insensiblement, on accouplerait les essieux au moyen de coudes placés au centre, et de bielles qui réuniraient les coudes.

La Compagnie d'Orléans essayant en ce moment le système Edmond Roy, il faut attendre le résultat de ces essais pour se prononcer sur son mérite réel. Voici toutefois les objections qui nous semblent pouvoir dès à présent lui être faites :

Le boudin de l'une des roues du milieu venant à rencontrer à côté du rail un obstacle qui produira le même effet que le rail courbe à l'entrée dans les courbes, le waggon tournera, les essieux extrêmes deviendront convergents, et le waggon sortira certainement de la voie, dans ce cas, plus facilement que si les essieux eussent été parallèles et les roues jumelles solidaires. M. Arnoux,

en rendant les différents waggons d'un convoi, au moyen des barres rigides d'attelage, solidaires pour ainsi dire les uns des autres, a cherché sans doute à se garantir contre cette éventualité, et ce qui prouve que la pratique lui a enseigné la nécessité de cet attelage rigide avec les roues et les essieux mobiles, c'est que, malgré ses inconvénients, il l'a conservé.

M. Roy propose à la vérité un nouveau système d'attelage qui, sans empêcher le mouvement de rotation du waggon sur l'essieu du milieu, en empêche toutefois jusqu'à un certain point le déplacement latéral; mais, si l'on employait ce système d'attelage, les waggons de M. Roy ne pourraient pas entrer dans la composition des trains formés de waggons ordinaires, ce qui serait un très-grave inconvénient pour l'exploitation, et le mouvement de lacet que l'inventeur prétend combattre serait remplacé probablement par un mouvement d'oscillation autour de l'axe qui ne serait pas moins fâcheux que le mouvement de lacet. Au chemin de Versailles, nous avons employé, il y a environ vingt ans, le tampon unique conseillé par M. Roy, et il s'en faut qu'il nous ait donné toute satisfaction. Il est vrai que le système d'attelage différait essentiellement du sien et laissait toute liberté au waggon pour se déplacer latéralement et obéir au mouvement de lacet.

C'est à tort, du reste, que M. Roy prétend que les tampons latéraux sont peu efficaces pour s'opposer au mouvement de lacet. Lorsque les attelages sont convenablement serrés, et que, par suite, ces tampons sont en contact, la voie étant en bon état d'entretien ainsi que le matériel roulant, le mouvement de lacet est presque insensible.

Nous reprocherons aussi au mode d'attelage de M. Roy sa complication. Nous croyons que l'assemblage des voitures avec cet attelage se ferait beaucoup moins rapidement et moins facilement qu'avec le système ordinaire.

Système Verpilleux. — Le chemin de fer de Saint-Étienne à Lyon présente de nombreuses courbes de petit rayon et des pentes très-fortes sur lesquelles on remorque des convois très-lourds. (*Voy.* vol. I, p. 235.) Toutes ces circonstances forcent à employer des locomotives qui puissent exercer un effort de traction consi-

dérable. D'un autre côté, les rails sur cette ligne sont faibles et ne peuvent supporter qu'une pression fort limitée. En outre, ils sont souvent couverts de boue formée par la houille répandue sur la voie et mouillée par la pluie. L'adhérence nécessaire ne peut s'obtenir qu'en rendant motrices plusieurs paires de roues.

Quand le rayon des courbes est suffisamment grand, on peut coupler trois et même quatre paires de roues; mais, dans le cas particulier qui nous occupe, cela n'était pas possible, à cause du grand écartement qui en serait résulté pour les essieux extrêmes.

M. Verpilleux imagina de placer sous le tender un mécanisme composé de cylindres, pistons, bielles, etc., en tout semblable à celui de la machine. Ces organes mettent en mouvement l'un des essieux du tender, lequel est à son tour couplé avec l'autre essieu. Ils permettent donc de doubler momentanément l'effort de traction de la machine sans surcharger en rien la voie. A cet effet, il suffit de faire passer une partie de la vapeur fournie par la chaudière dans les cylindres moteurs du tender.

Le système ingénieux de M. Verpilleux présente plusieurs inconvénients pratiques.

La chaudière ne pouvant pas avoir de très-grandes dimensions comme dans les machines Engerth, on ne saurait, avec ces machines, produire une grande quantité de vapeur, et on ne peut, par conséquent, marcher qu'à de très-petites vitesses. L'appareil moteur supplémentaire est d'un prix très-élevé. Il s'use aussi bien que celui de la machine et donne lieu à des frais de réparation considérables. Le tube qui amène la vapeur de la chaudière à ce mécanisme a jusqu'à six joints à presse-étoupes, disposition coûteuse et d'un entretien difficile. Nous en dirons autant du tuyau d'échappement qui ramène la vapeur du tender à la cheminée.

Locomotive Flachat. — M. Eugène Flachat, partant du même principe que M. Verpilleux, a cherché à franchir des rampes de 50 à 60 millimètres avec un matériel susceptible de circuler dans des courbes de très-faible rayon. Devant un effort de traction qui s'élève jusqu'au seizième du poids remorqué et des influences climatériques qui peuvent affecter l'adhérence, il s'est trouvé dans la né-

cessité d'obtenir à la fois une puissance motrice considérable et de grandes ressources pour l'adhérence.

La chaudière, placée sur deux truks à six roues, peut avoir de fortes dimensions, sans charger, pour cela, les rails outre mesure. M. Flachat espère pouvoir lui donner 350 à 400 mètres carrés de surface de chauffe.

Quant aux waggons, ils sont construits dans le système américain, et tous les truks sont armés de cylindres qui reçoivent la vapeur de la chaudière et transmettent le mouvement aux roues. La vapeur sera transmise aux cylindres par des conduits à articulation flexible. Toutes les roues du train étant couplées, l'adhérence qu'exige l'effort de traction pour être complétement utilisé ne dépasse pas la seizième partie du poids porté par ces roues. — Moitié seulement étant couplée, elle ne dépasse pas la huitième partie. Avec les machines actuelles, l'adhérence nécessaire est la seizième partie du poids que portent les roues.

Ce système, fort ingénieux en principe, paraît devoir présenter de grandes difficultés dans l'exécution. Espérons que l'habile ingénieur qui en est l'inventeur saura les surmonter.

Machine Beugnot. — Cette machine a une grande surface de chauffe (180 mètres carrés).

Ses dimensions et son adhérence sont telles, que la machine peut absorber et utiliser toute la vapeur produite par ses 180 mètres de surface de chauffe.

L'adhérence utilisée est de 48 tonnes ; le nombre des roues couplées est de huit. Ces roues ont $1^m,20$ de diamètre. Les cylindres ont $0^m,54$ de diamètre et $0^m,56$ de course.

La charge totale ne devant jamais dépasser 12 tonnes par essieu, la machine est portée sur dix roues : d'une part, les huit roues accouplées de $1^m,200$ placées entre la boîte à feu et la boîte à fumée, et, d'autre part, les deux roues d'avant du tender.

Le tender est complétement indépendant de la machine, et peut s'atteler et se dételer aussi facilement que dans les locomotives ordinaires ; seulement, par une disposition spéciale, l'avant-train du tender s'enfile sous le tablier du machiniste, et une combinaison de ressorts de suspension permet de reporter sur les collets inté-

rieurs de l'essieu de cet avant-train la surcharge du foyer de la locomotive.

Les huit roues de la machine comportent un empatement total de 3m,900. Cet empatement serait beaucoup trop grand pour le passage dans des courbes de petit rayon si les essieux accouplés étaient rigides. Aussi sont-ils rendus mobiles entre eux par groupes au moyen de la disposition mécanique suivante :

Chaque essieu a quatre collets, deux intérieurs et deux extérieurs aux roues. Les boîtes à graisse de forme spéciale des collets intérieurs sont réunies de deux en deux essieux par des bâtis intérieurs mobiles. Ces quatre boîtes intérieures mobiles tournent autour de quatre sphères et reçoivent par leur intermédiaire une partie de la charge de la machine.

Le reste de cette charge repose sur les boîtes à graisse des collets extérieurs. Celles-ci sont prises et guidées par un châssis extérieur formant un rectangle rigide avec les traverses d'avant et d'arrière de la machine. C'est ce rectangle qui traîne la charge à la montée et reçoit les chocs du train à la descente.

Les boîtes à graisse extérieures ont chacune, dans leurs glissières respectives, un jeu transversal de 40 millimètres, soit 20 millimètres de chaque côté.

Quand la machine entre dans une courbe, la pression des rails contre les bandages des roues du premier essieu de chaque groupe se transmet directement par les boîtes à graisse des collets intérieurs aux bâtis mobiles. Ceux-ci oscillent autour des sphères, entraînant dans leur mouvement les deux autres essieux de chaque groupe, et les faisant glisser transversalement à eux-mêmes, sans que pour cela leur parallélisme soit altéré.

Les essieux, leurs manivelles et leurs bielles d'accouplement arrivent ainsi à se placer naturellement dans la position exigée par le rayon même de la courbe, et qui est la plus favorable au passage de la machine dans ladite courbe.

Cette disposition nouvelle des essieux, outre les avantages qu'elle procure au véhicule pour la marche en courbe, possède encore les suivants :

1° Grande surface de frottement aux collets, ce qui diminue la

charge par unité de surface, facilite le graissage et empêche la chauffe;

2° Grand écartement des collets extérieurs, ce qui donne plus de stabilité au système dans le sens transversal de la voie;

3° Suspension parfaite, par l'intermédiaire de seize ressorts, ce qui atténue les effets de la charge sur les rails;

4° Maintien des roues dans leur position verticale en cas de rupture d'essieu, et, par suite, suppression des chances de déraillement dans ce cas particulier.

Pour éviter le mouvement de lacet que comportent les locomotives puissantes lorsque les cylindres à vapeur sont très-écartés l'un de l'autre, on a diminué dans la machine qui nous occupe l'entre-axe de ces cylindres au moyen de la combinaison mécanique toute nouvelle qui suit (1^m,500 d'entre-axe au lieu de 2^m,20 à 2^m,300).

L'essieu d'avant est l'essieu moteur. Il est coudé et porte en outre des manivelles extérieures, calées symétriquement aux coudes qui les avoisinent, de façon que, par l'intermédiaire de quatre bielles et de deux traverses, chaque cylindre se trouve respectivement commandé, en dedans par un coude de l'essieu moteur, et en dehors par sa manivelle symétrique, qui sert en même temps à transmettre l'accouplement aux trois autres roues du même côté, au moyen de manivelles et de bielles.

Sur les manivelles d'accouplement de l'essieu moteur sont calées les poulies d'excentrique de distribution; sur les manivelles de l'essieu d'arrière les poulies d'excentrique commandant les pompes alimentaires, de telle sorte que tous les mouvements de la machine sont à l'extérieur, et que le machiniste peut les voir fonctionner de sa place et les graisser en marche, ce qui peut être très-important quand on descend les rampes.

L'attelage de la machine au tender, au lieu de se faire par une barre ou un maillon comme d'habitude, s'obtient par l'intermédiaire de deux bielles, articulant chacune à l'une de ses extrémités à un point fixe pris sur le bâtis extérieur de la machine, à l'autre extrémité à l'un des bouts d'un balancier fixé en son milieu à la traverse d'avant du tender.

Les points pris sur les bâtis extérieurs de la machine et celui sur la traverse du tender sont déterminés au moyen d'une épure, et pour une courbe de 100 mètres de rayon. Cette disposition, jointe au rapprochement des tampons de buttée entre la machine et le tender, fait que, dans une courbe de petit rayon, le tender pivote facilement sous le tablier de la machine, fait avec elle un angle proportionnel à la courbe, et n'a aucune tendance au déraillement.

Le tender peut être approvisionné de 7,500 litres d'eau et de 50 à 60 paniers de combustible, ce qui permet d'entreprendre un long parcours sans crainte d'être pris au dépourvu. Cette condition est importante, vu la difficulté où l'on peut se trouver de s'approvisionner d'eau en certains points d'une montagne.

Pour résumer, la machine de montagne, système E. Beugnot, présente les dispositions suivantes :

Grande surface de chauffe ;

Adhérence maximum de 48 tonnes, à raison de 12 tonnes sur chacun des quatre essieux accouplés, ce qui permet d'utiliser la puissance due à la grande surface de chauffe ;

Organes spéciaux permettant à la machine de franchir les courbes de très-petit rayon, malgré son empatement de 3^{m},900 ;

Grande stabilité de la machine sur la voie, stabilité due au rapprochement d'entre-axe de ses cylindres, au grand empatement des collets extérieurs des essieux et à l'accouplement spécial de la machine avec le tender ;

Disposition du tender à grande contenance, dont la roue d'avant vient supporter le surpoids de la boîte à feu, ce qui constitue de fait un appareil d'anti-lacet ;

Attelage de la machine au tender par l'intermédiaire d'un balancier et de deux bielles, dont les points d'attache sont déterminés de façon à faciliter le passage en courbe.

Système Jouffroy. — MM. de Jouffroy et Séguier, dont nous allons décrire les systèmes, se sont proposé l'un et l'autre d'augmenter l'adhérence, afin de gravir les rampes très-inclinées. Ils ont pour cela compliqué la construction des machines et de la voie sans nécessité, car, la vapeur étant employée comme moteur, on ne

peut développer une grande puissance qu'avec des machines lourdes, et ces machines ont généralement assez d'adhérence pour uti-

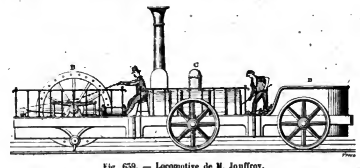
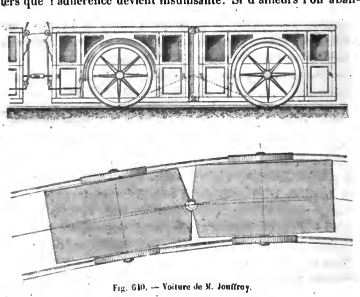


Fig. 639. — Locomotive de M. Jouffroy.

liser toute leur puissance. Ce n'est que dans quelques cas particuliers que l'adhérence devient insuffisante. Si d'ailleurs l'on aban-


Fig. 640. — Voiture de M. Jouffroy.

donne la locomotive comme moteur dès que la pente dépasse une certaine limite, ce n'est pas parce qu'elle manquerait d'adhérence, mais parce qu'alors, la résistance occasionnée par la composante

parallèle au plan incliné du poids des machines en usage étant considérable, le poids remorqué, eu égard à la puissance, devient trop faible [1]. M. Eugène Flachat a très-bien compris les difficultés du problème à résoudre, lorsque, voulant remonter de très-fortes pen-

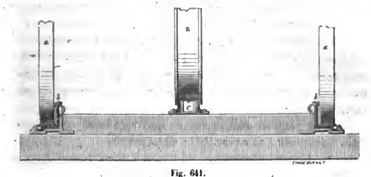


Fig. 641.

tes avec une locomotive, il a considérablement augmenté la puissance de la machine tout en augmentant l'adhérence, sans pour cela augmenter le poids de la machine proportionnellement à l'ac-

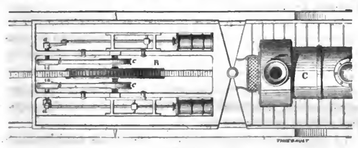


Fig. 642.

croissement de puissance et sans faire subir à la voie un excès de fatigue, ce que n'ont fait ni M. de Jouffroy ni M. Séguier.

Nous ferons connaître d'abord le système Jouffroy.

M. de Jouffroy s'est proposé de construire une machine légère ayant une grande adhérence et pouvant passer dans des courbes de petit rayon. Pour y parvenir, il a placé tout le mécanisme sur un

[1] Voir une note publiée par M. Couche dans les *Annales des Mines*... sur ce sujet, note dans laquelle M. Couche se trouve être parfaitement d'accord avec nous.

train distinct de celui qui porte la chaudière. Les deux trains, réunis en leur milieu par une articulation, sont portés sur deux roues seulement. Au milieu du train d'avant portant le mécanisme et à égale distance des deux longerons de ce train se trouve une roue de grand diamètre (*voy.* fig. 641) en fer avec jante en bois debout reposant sur un rail strié spécial posé au milieu de la voie. Les pistons communiquent le mouvement de rotation à un arbre qui lui-même le transmet à un second arbre auquel est fixée la grande roue centrale, la transmission ayant lieu au moyen de courroies qui passent sur des poulies à échelons pour qu'on puisse varier la vitesse.

C'est en vertu de l'adhérence de la grande roue centrale que le train tout entier doit se mettre en mouvement.

Le tender et les waggons sont tous à deux roues *libres* sur l'essieu. Le tender est réuni au châssis qui porte la chaudière par une articulation semblable à celle qui sert d'assemblage à ce châssis avec celui qui porte le mécanisme; les waggons sont réunis entre eux et au tender de la même manière. Les rails enfin sont en fonte avec saillies à l'intérieur.

Nous ne saurions approuver le mode de construction de la voie Jouffroy, car nous avons indiqué que depuis longtemps les voies à bandes plates avaient été abandonnées à cause de la difficulté que l'on éprouve à en maintenir les rails dans un état de propreté convenable, et que l'on avait également renoncé aux rails en fonte, qui s'égrènent, se brisent, et en définitive sont, à résistance égale, plus coûteux que ceux en fer.

La disposition de l'appareil moteur nous paraît aussi essentiellement vicieuse. La chaudière, reposant sur un essieu unique, ne peut être très-grande qu'à la condition de faire éprouver à la voie une fatigue excessive. La machine ne peut donc être très-puissante.

Il est permis de douter de l'efficacité du rail strié de M. de Jouffroy pour produire l'adhérence : tant que les stries de ce rail seront fraîches, on pourra obtenir l'effet désiré; mais celles-ci ne tarderont pas à se remplir de poussière et de débris de la jante en bois; et, dans cet état, la roue motrice, trop peu chargée, glissera. Si M. de Jouffroy était parvenu à soulager les rails en faisant supporter à

chacun de ses essieux un poids moindre que dans les chemins de fer ordinaires, on comprendrait l'opportunité d'un appareil spécial destiné à produire une adhérence auxiliaire; mais nous avons vu qu'il n'en était rien. Il était donc inutile de recourir à de pareils moyens pour obtenir ce surcroît d'adhérence.

La transmission du mouvement par des chaînes ou par des courroies, qu'emploie M. de Jouffroy, serait à elle seule l'occasion d'une objection grave à son système. Dans les machines qu'on emploie actuellement sur les chemins de fer, le but qu'il se propose est atteint tout naturellement par l'emploi de la détente variable. De plus, quand on gravit une rampe, la vitesse du convoi diminue graduellement, et avec elle celle des pistons. La vapeur parcourt plus lentement les canaux qui la conduisent de la chaudière dans les cylindres, de sorte qu'elle arrive dans ces derniers à une pression bien plus élevée que lorsque la machine, marchant dans les conditions ordinaires, est animée d'une vitesse considérable.

Enfin, nous devons faire observer que si les roues libres et l'articulation des waggons font disparaître les résistances qui, au passage des courbes, résultent de la fixité des roues sur les essieux et du parallélisme des essieux, l'action de la force centrifuge subsiste.

Système Séguier. — Le système de M. Séguier a une certaine analogie avec celui de M. de Jouffroy. Les roues motrices de sa machine, distinctes des roues porteuses, sont horizontales; elles sont pressées, par d'énergiques ressorts, contre un rail central fixé solidement dans l'axe de la voie, et fonctionnent comme des cylindres de laminoirs. *Plus simple que le système Jouffroy, le système Séguier a, comme nous l'avons déjà indiqué, un défaut qui lui est commun, celui d'augmenter sans nécessité l'adhérence par une complication du mécanisme et de la voie.*

Système Amberger, Nicklès et Cassal. — Un fil métallique, recouvert d'une matière isolante, contourné en hélice et traversé par un courant galvanique, se comporte tout à fait comme un aimant; ainsi il attire le fer, et l'axe de l'hélice tend toujours à se mettre dans le plan du méridien magnétique. Si dans l'intérieur de cette hélice on place un morceau de fer doux, celui-ci devient à son

tour un aimant dont la puissance croîtra avec le nombre de révolutions du fil et avec l'intensité du courant. Les deux pôles de l'électro-aimant se trouvent aux deux extrémités de l'axe de l'hélice.

Partant de ce principe bien connu de physique, MM. Amberger, Nicklès et Cassal eurent l'idée de rechercher s'ils ne pourraient pas entretenir la partie inférieure des roues motrices dans un état constant d'aimantation, ou, en d'autres termes, transformer les roues en électro-aimants à pôles mobiles.

Pour mettre cette idée à exécution, MM. Amberger, Nicklès et Cassal imaginèrent d'entourer la partie inférieure de la roue motrice d'une bobine en fil de cuivre recouvert de gutta-percha. Cette bobine en suit tous les contours à une faible distance, et la roue se meut en dedans librement comme auparavant. Les deux extrémités de la bobine communiquent avec les deux pôles d'une pile voltaïque placée sur la machine.

Dès lors chaque roue motrice est transformée en un aimant dont les deux pôles se trouvent l'un au point de contact de la roue avec le rail, l'autre au point le plus élevé de cette roue.

Par ce moyen, MM. Amberger, Nicklès et Cassal ont obtenu les résultats suivants : chacune des roues de 1^{m},10 de diamètre était entourée d'une bobine formée par un fil de cuivre d'un faible diamètre et de 250 mètres de longueur. On a fait passer par ces bobines un courant produit par une pile de seize éléments de Bunsen, renfermés dans une boîte de 16 mètres de longueur sur 0^{m},50 de largeur et 0^{m},45 de hauteur. L'adhérence due au poids des roues était, sur des rails secs, de 550 kilogrammes, l'adhérence supplémentaire obtenue au moyen de l'électro-magnétisme, de 450 kilogrammes. Par un temps de brouillard, 100 kilogrammes suffiraient pour vaincre l'adhérence des roues et les frottements de l'appareil; l'adhérence magnétique ne produit que 50 kilogrammes. Une couche épaisse de suif étendue sur la roue ferait tomber l'adhérence magnétique de 450 à 280 kilogrammes.

Le système Amberger, Nicklès et Cassal a été expérimenté sur le chemin de Lyon, mais il n'a pas donné de bons résultats. Les bandages des roues de locomotives, étant en fer dur, s'aimantaient bien, mais ils ne se désaimantaient pas assez vite, de sorte qu'en marche

les pôles se trouvaient plutôt sur le diamètre horizontal que sur le diamètre vertical.

Système Pecqueur. — M. Pecqueur, comme M. Andraud, s'est proposé de faire fonctionner les locomotives au moyen de l'air comprimé à une certaine pression. Nous avons reconnu, en parlant de la locomotive Andraud, qu'il ne paraissait pas possible de faire porter le réservoir d'air comprimé au véhicule. M. Pecqueur a imaginé de puiser cet air dans un tube fermé régnant sur toute la longueur de la voie et servant de réservoir, où l'on tient la force accumulée.

Pour le faire arriver dans les boites à distribution, ce tuyau fermé est muni, de distance en distance, de tubulures à soupape mises en communication avec des tiroirs ou glissières creuses de grandes dimensions, faisant partie des locomotives mêmes et mises en mouvement par un mécanisme y adhérant. L'air comprimé qu'elles renferment se rend aux cylindres de la même manière que la vapeur, par un tuyau métallique dont une partie est rendue élastique pour se prêter aux oscillations et aux chocs qui peuvent survenir dans la marche.

Ce mode de distribution permet d'obtenir une détente constante à chaque prise d'air ou à chaque tubulure du grand réservoir longitudinal.

Le système Pecqueur paraît trop compliqué pour être susceptible d'une application facile, et on peut lui faire une grande partie des reproches que nous avons adressés au système atmosphérique par aspiration.

M. Pecqueur a aussi imaginé une disposition qui lui permet d'employer l'air comprimé à faire marcher un piston locomoteur, comme dans le système atmosphérique par aspiration. Nous renverrons, pour la description de ce système, à l'ouvrage de M. Armengaud.

Chemins éoliques. — Le système éolique, qui est de l'invention de M. Andraud aussi bien que celui des locomotives à air comprimé, consiste en un madrier placé de champ entre deux rails; de chaque côté de ce madrier est appliqué un tube en étoffe flexible et imperméable à l'air. Ces tubes, dits propulseurs, communiquent de

distance en distance par des robinets avec un tube réservoir latéral, étanche et résistant, qui accompagne la voie dans toute sa longueur. A des distances qui varient à volonté, sont placés des jeux de pompe mis en action par une force quelconque. Ces pompes compriment l'air dans le tube-réservoir, d'où il est versé à volonté, au moyen des robinets, dans les sections des tubes propulseurs.

Les voitures qui transportent les voyageurs ou les marchandises sont armées à l'avant d'un appareil composé de deux cylindres qui se serrent à volonté, de manière à pouvoir presser fortement les tubes propulseurs contre le madrier.

Lorsque le waggon est ainsi disposé, on ouvre le robinet de départ; l'air s'introduit aussitôt dans la partie postérieure des tubes; cette irruption de l'air comprimé agit sur les rouleaux, qui, en marchant, entraînent le waggon. Arrivé à l'extrémité de la section, le waggon passe sans s'arrêter sur la section suivante, dans laquelle on introduit également l'air. Il n'est pas nécessaire de laisser le robinet ouvert jusqu'au moment où le waggon est arrivé à l'extrémité de la section; on peut le fermer auparavant, et l'air agit alors par détente, en perdant naturellement et graduellement sa puissance de propulsion sans que le train, pressé par la vitesse acquise, perde de sa vitesse.

Lorsqu'on désire arrêter, on desserre les rouleaux; l'air s'échappe par le tube sans agir sur eux, et l'on serre les freins. L'homme chargé de la manœuvre du robinet le ferme s'il est encore ouvert.

Le système éolique présente tous les avantages et les inconvénients des systèmes à machines fixes, et on lui reproche certains inconvénients qui lui sont propres. Ainsi les tubes de propulsion en étoffe, enduits de caoutchouc, ne semblent pas, dit-on, susceptibles d'une longue durée, et sont sujets à de fréquentes avaries. On ne se rend également pas bien compte de la perte de force qui aura lieu dans la transmission de la puissance du moteur aux waggons par le procédé Andraud. Il y a lieu de craindre qu'elle ne soit considérable.

Soixante-dix brevets ont été pris pour des perfectionnements au système atmosphérique. On en trouve la description dans l'ouvrage de M. Armengaud.

Appareil Giffard. — Description. — La figure 643 est une coupe

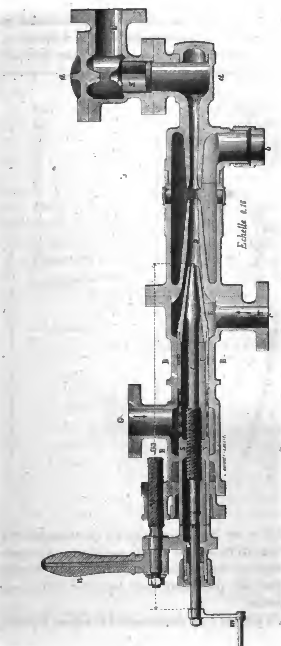


Fig. 645. — Appareil Giffard. Coupe.

longitudinale de l'injecteur (de celui qui est actuellement en construction aux ateliers de la Compagnie de l'Est à Épernay). Nous en expliquerons sommairement le jeu en indiquant quelques-unes des prescriptions données par l'inventeur, et en employant les

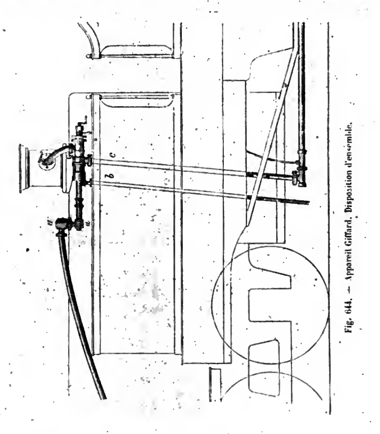


Fig. 644. — Appareil Giffard. Disposition d'ensemble.

termes dont il se sert dans une note qu'il a communiquée aux ateliers du chemin de fer de l'Est pour la construction des injecteurs, et où il donne les dimensions en fonction du petit diamètre du cône divergent pris pour unité, pour les séries d'injecteurs des différentes forces.

Un tuyau G précédé d'un robinet prend la vapeur dans le géné-

rateur qu'il s'agit d'alimenter, sur lequel il doit se brancher directement et non sur un autre tuyau, et l'amène dans un espace annulaire intérieur du cylindre B, d'où elle se répand dans la partie intérieure C terminée en cône, qui est mobile, par des petits trous percés au-dessous du tuyau de prise de vapeur sur toute la circonférence du piston. Si l'aiguille *t*, qui peut fermer exactement la tuyère du piston *c* et intercepter le passage de la vapeur, est ouverte, la vapeur, en s'échappant, vient frapper les parois de la cheminée D, qui termine la chambre à eau E, et qui aboutit dans l'atmosphère; et, si le cône extérieur de la tuyère, qui sert d'obturateur à la cheminée pour régler ou intercepter le passage de l'eau, est ouvert, la vapeur, en s'échappant dans l'atmosphère par l'orifice de la cheminée, produit un vide qui aspire par entraînement latéral l'eau qui est contenue dans la chambre E, où elle arrive du réservoir d'alimentation par le tuyau T. On obtient une veine fluide qui s'échappe avec une grande vitesse dans l'atmosphère par l'extrémité de la cheminée, et dont la puissance vive est suffisante pour vaincre non-seulement la résistance que lui oppose l'eau qui tend à s'échapper de la chaudière et y pénétrer, mais encore les autres résistances accessoires, telles que l'aspiration d'eau froide, les frottements dans les tuyaux, les pertes de charge diverses, le poids des soupapes, etc. A cet effet, la veine fluide est reçue dans la chaudière par le tube divergent placé à l'extrémité de la cheminée D, lequel est précédé d'un évasement nommé cône convergent ou entrée d'eau, et terminé par le clapet de retenue *s'*, qui se ferme par la pression de la chaudière quand l'injection est arrêtée.

Pour mettre l'appareil en marche, l'ouverture en grand du robinet de vapeur précède toute opération. Le piston étant légèrement retiré pour laisser un passage à l'eau froide entre la tuyère et la cheminée, on provoque l'aspiration de l'eau en ouvrant l'aiguille d'une petite quantité seulement. Quand l'aspiration est amorcée, on ouvre l'aiguille en grand, et l'injection se produit presque aussitôt. L'aiguille ne sert d'obturateur à la vapeur que pour la mise en train, et doit être ouverte en grand dès que ce but est atteint; elle ne peut servir en aucune façon à régler l'alimentation. Ce résultat s'obtient en enfonçant plus ou moins le piston dans le cylindre,

c'est-à-dire en réglant l'espace annulaire qui existe entre la cheminée et la tuyère. Tant que le régime permanent est obtenu, une veine blanche traverse l'atmosphère et pénètre dans le tube divergent sans perdre la moindre parcelle d'eau ou de vapeur. La fermeture du robinet de vapeur seule suffit pour arrêter tout l'appareil.

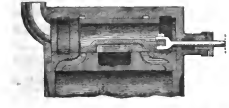
Appareil Giffard. — Théorie. — La théorie de l'appareil Giffard est restée jusqu'à présent obscure. L'aspiration de l'eau du réservoir paraît avoir lieu au moyen du jet de vapeur qui s'échappe de la chaudière de la même manière que l'aspiration de l'air de la cheminée au moyen du jet de vapeur qui s'échappe des cylindres. — Reste à savoir comment le jet d'eau et de vapeur plus ou moins condensée peut repousser dans la chaudière le jet d'eau qui tend à sortir par le cône convergent. Peut-être faut il en rechercher la cause dans la quantité de chaleur latente que renferme la vapeur, quantité bien supérieure à celle renfermée dans l'eau. Cette vapeur, d'après le savant M. Regnault, peut produire un effet dynamique de 440 kilogrammètres par calorie.

M. Combes a donné dans les *Annales des Mines* une explication plutôt qu'une théorie de l'appareil Giffard. M. Carvalho, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a soumis au jugement de l'Académie des sciences un mémoire qui, si nous sommes bien informé, renfermerait une véritable théorie de cet appareil.

On a prétendu que l'appareil Giffard consommait une quantité de force plus grande que les pompes ordinaires. La consommation en combustible toutefois sur les chemins de fer de l'Est, où on en fait usage depuis plusieurs mois, ne s'est pas trouvée plus grande, le travail étant le même pour des machines munies de cet appareil et pour d'autres machines fonctionnant avec des pompes. *L'appareil Giffard a sur les pompes l'avantage de coûter moins de construction et d'entretien; mais il ne permet pas de chauffer l'eau du tender à plus de 35 ou 40 degrés.*

Note sur le tiroir Joblin. — Ce tiroir, s'il était possible de maintenir le contact des parties frottantes dans un état tel qu'il n'y eût ni trop de frottement ni trop de jeu, donnerait d'excellents résultats, puisqu'il supprime l'énorme pression de vapeur qui se produit

avec les tiroirs ordinaires ; outre l'économie de force qui résulterait de son emploi, il aurait l'avantage de maintenir toujours en bon état les diverses pièces du mécanisme de la distribution de vapeur, qui, n'étant plus soumises à de grands efforts, subiraient très-peu d usure. Mais, dans l'application, les choses ne se passent pas comme on l'espérait. Si on serre trop fort le tiroir dans sa boite, indépendamment de l'augmentation de frottement, ce tiroir grippe, et il se produit des fuites de vapeur ; si, au contraire, on ne serre pas assez les joints, les pertes de vapeur sont très-sensibles. L'état moyen de serrage que l'on cherche à obtenir pour parer aux deux inconvénients signalés ci-dessus ne se maintient pas longtemps, et



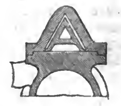


Fig. 645. — Tiroir Jobin.

le tiroir finit par prendre du jeu et occasionne des pertes de vapeur. Après des essais assez longs faits sur une machine Crampton, la Compagnie de l'Est a été obligée d'abandonner ce tiroir, qui, en définitive, a plutôt présenté des inconvénients que des avantages.

Système Belleville. — M. Belleville, de Nancy, a appliqué à une machine locomotive son système générateur à vaporisation instantanée ; il n'y a pas de chaudière proprement dite ; l'appareil se compose d'une série de tubes en fer disposés en serpentin tout autour du foyer, puis d'une autre série de tubes qui sont chauffés par le gaz circulant du foyer à la cheminée. L'eau est introduite dans les tubes par une pompe foulante fonctionnant constamment et qui, au moyen de la disposition ingénieuse d'une soupape régulatrice, alimente le générateur exactement au fur et à mesure de la dépense de vapeur. La capacité intérieure du foyer, où se développent les gaz, est à peu près la même que celle des machines ordinaires.

La surface de chauffe est de.	56^{m}, »
dont pour le foyer.	18^{m},66
— l'arrière du foyer.	18^{m},66
— le serpentin réchauffeur.	18^{m},66
La surface de la grille est de.	0^{m},900
Le volume ou la capacité totale du générateur est de.	0^{m},558

Les tubes ont 63$^{m}/_{m}$ de diamètre extérieur et 50$^{m}/_{m}$ intérieurement.

La machine locomotive alimentée par ce générateur est à cylindres extérieurs de 0^{m},38 de diamètre; les roues ont 1^{m},680. Elle a été mise en service régulier entre Épernay et Châlons pendant quelque temps. Les trains réguliers de waggons remorqués par la machine ont pu arriver à l'heure prescrite. Les parcours effectués sont trop faibles pour qu'on ait pu juger de la consommation de combustible.

L'appareil actuel ne laisse pas assez de passage pour les gaz de la combustion; on est obligé de produire le tirage au moyen de l'échappement variable. Les tubes se couvrent de cendres et ne peuvent être nettoyés. M. Belleville se propose, dans ses nouveaux appareils, de remédier à ces graves inconvénients.

DES DIFFÉRENTS ESSAIS TENTÉS POUR SUBSTITUER LA HOUILLE AU COKE DANS LES LOCOMOTIVES.

Considérations générales. — Les cahiers de charges imposés aux Compagnies leur enjoignant de brûler la fumée des locomotives, la houille employée exclusivement dans les anciennes machines desservant les chemins de fer des environs de Newcastle fut pendant longtemps proscrite sur les chemins de fer à grande vitesse. Le coke produit bien de la fumée aussi, mais beaucoup moins que la houille, et cette fumée ne donne lieu à aucune plainte de la part du public. On croyait aussi que ce combustible était moins nuisible aux machines que la houille; c'était nouvelle raison d'exclure la houille.

Le coke devenant fort coûteux, et certaines Compagnies même éprouvant de grandes difficultés pour faire leurs approvisionne-

ments, les ingénieurs du matériel revinrent à l'usage de la houille, du moins pour les convois à marchandises.

Essais des mélanges de houille et de coke. — Ils essayèrent d'abord de la mélanger avec le coke; mais le mélange de coke et de houille n'a pas donné grande satisfaction. On a trouvé que, malgré les soins apportés à la conduite du feu et le choix des charbons, le tirage nécessaire pour la combustion du coke était trop énergique pour la houille, qui, passant dans la boîte à fumée, en obstruait les tubes. En outre, la hauteur de la charge dans les foyers étant nécessairement considérable par suite de l'emploi du coke dans ce mélange, la combustion de la houille était très-incomplète : grasse, elle produisait beaucoup de fumée; maigre, elle se désagrégeait et tombait en poussière en rendant la combustion difficile.

Essais avec la houille seule. — On a mieux réussi dans les essais faits pour employer la houille seule en brûlant sa fumée. On est parvenu à rendre les foyers entièrement fumivores, du moins en ce qui concerne certaines espèces de houille, et il y a lieu d'espérer que l'on parviendra à remplacer entièrement le coke par le combustible brut.

Ce résultat aurait une immense portée, non-seulement pour les Compagnies de chemins de fer, qui réaliseraient de grandes économies, mais encore pour l'industrie en général, qui pourrait utiliser à l'état brut certaines variétés de houille réservées aujourd'hui en grande partie pour la fabrication du coke employé dans les locomotives. L'économie réalisée sur le seul réseau de l'Est par l'emploi général de la houille dans les locomotives ne serait pas de moins de 800,000 fr. par an. Il sera donc d'un grand intérêt pour nos lecteurs de connaître le résultat des essais tentés pour remplacer dans les locomotives le coke par la houille.

En France, sur le chemin du Nord, on fait usage, dans ce but, de la grille à gradins de MM. Chobrzynsky et de Marsilly, et, sur le chemin d'Orléans, de la grille inclinée. Nous avons décrit plus haut, page 422, la grille à gradins. Aux chemins de l'Est, on essaye depuis plusieurs années l'appareil Dumery.

Appareil Dumery. — Nous avons décrit l'appareil Dumery dans

notre première édition; cet appareil n'ayant pu jusqu'à présent être appliqué avec avantage aux machines locomotives, nous croyons inutile de reproduire la description que nous en avons donnée. Nous nous bornerons à rappeler que M. Dumery, au moyen d'une combinaison très-ingénieuse, introduit la houille dans le foyer sous le combustible incandescent au lieu de la projeter, comme dans les foyers ordinaires, sur ce combustible. La fumée se brûle alors en traversant la couche en ignition; mais, soit que la quantité d'air introduite soit insuffisante, soit qu'il se produise dans cet appareil une grande masse d'oxyde de carbone, la consommation en combustible dans les machines locomotives pour lesquelles on s'en est servi a toujours été excessive. On reproche aussi à l'appareil Dumery, bien qu'il ait été simplifié, sa trop grande complication.

Essais faits en Angleterre. — En Angleterre, les expériences ont été nombreuses. N'ayant pu visiter les chemins anglais depuis qu'elles ont été entreprises, nous aurons recours, pour en rendre compte, à un article inséré dans les *Annales des Mines* par M. Noblemaire[1]; à un autre article publié également dans ces *Annales* par M. Couche, et au Traité de M. Kinnear Clarke.

Inconvénients des grilles à échelons ou inclinées. — M. Noblemaire critique la grille à échelons et la grille inclinée. Il leur reproche de diminuer la surface de chauffe par rayonnement. Il prétend que l'air frais ou imparfaitement brûlé ne se mélange pas avec la fumée, et qu'avec des grilles horizontales on obtiendrait les mêmes résultats, pourvu seulement que le mécanicien eût le soin de ne charger la houille qu'à l'arrière du foyer, en laissant la couche incandescente découverte à l'avant. Il est difficile toutefois d'admettre que la Compagnie du Nord aurait fait usage pendant plusieurs années de la grille à échelons, et celle d'Orléans de la grille inclinée pour brûler la houille, si réellement ces deux Compagnies n'y eussent trouvé quelque avantage; sans doute le mélange de l'air frais et de la fumée ne se fait pas avec ces grilles d'espèce particulière dans les meilleures conditions, puisqu'elles ne permettent pas de brûler toute sorte de houille; mais il doit s'opérer, dans une certaine mesure, mieux qu'avec les grilles horizontales.

[1] Deuxième livraison de 1859, page 41.

Appareils anglais. — Les appareils anglais décrits par M. Noblemaire semblent du reste ne pas devoir également donner satisfaction dans tous les cas.

Dans tous ces appareils, l'air frais destiné à brûler la fumée arrive dans le foyer par-dessus la couche de combustible, et on provoque un mélange avec la fumée par des dispositions particulières.

Dans tous ces appareils aussi on est obligé, pour brûler la fumée pendant les stationnements, de produire un tirage artificiel à l'aide d'un jet de vapeur dans la cheminée.

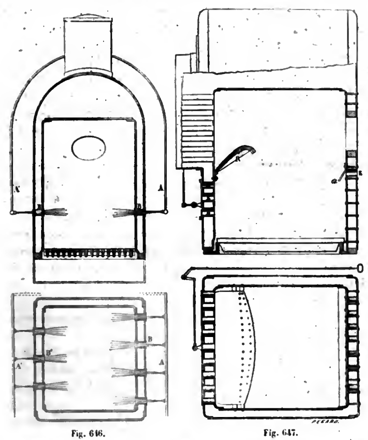


Fig. 646. Fig. 647.

Appareil Jenkins. — L'appareil Jenkins, décrit d'abord par

M. Noblemaire, est représenté figure 647. L'air frais arrive dans le foyer par vingt-sept entre-toises creuses E,E,E, qui traversent la paroi d'avant du foyer, par neuf entre-toises E,E,E, traversant la paroi d'arrière à la hauteur de la plate-forme du mécanicien, et par trois ouvertures ménagées dans la porte. Toutes les ouvertures sont à volonté ouvertes ou fermées par deux registres de tôle perforée, glissant devant elles dans des rainures fixées à l'enveloppe du foyer et manœuvrées au moyen d'un système très-simple de leviers par le mécanicien.

Une espèce d'auvent recourbé R et un fer d'angle *a* placé devant les ouvertures forcent le courant d'air à se rabattre sur la grille.

La fumée des houilles employées dans le foyer Jenkins s'est parfaitement brûlée; la quantité de houille par kilomètre parcouru est, dans ces machines, inférieure en poids à celle du coke, en sorte que, la tonne de houille coûtant moitié de ce que coûte celle de coke, la dépense est réduite de plus de 50 pour 100. Les frais d'entretien de l'appareil sont malheureusement énormes, et l'auvent R a l'inconvénient de masquer la rangée de tubes inférieurs.

Appareil Marcam. — M. Marcam a modifié l'appareil Jenkins en remplaçant l'auvent en fer par une voûte en briques qui s'appuie sur les parois latérales, et en plaçant cette voûte au-dessous de la rangée inférieure des tubes, de manière à la démasquer.

Appareil Lees. — M. Lees a, comme M. Marcam, remplacé l'auvent en fer par une voûte en briques. Il a supprimé les entre-toises creuses et ne fait arriver l'air que par une porte tournant sur des charnières horizontales. Un auvent en fonte rabat le courant d'air sur la grille, qui est inclinée de $0^{m},16$ par mètre.

Les entre-toises creuses supprimées, la voûte en briques ne paraît pas nécessaire.

Le mélange de l'air frais avec la fumée ne paraît pas devoir se faire aussi bien dans les machines de Lees que dans celles de Jenkins; mais les frais d'entretien du foyer Lees sont de beaucoup inférieurs à ceux du foyer Jenkins.

Quant à ce qui est de la consommation en combustible, elle est de 8.22 pour 100 inférieure à celle des foyers où l'on brûle du coke. Tenant compte des prix de la houille et du coke, on trouve

que l'économie réalisée en argent est encore de plus de 50 p. 100.

Appareil Douglas. — M. Douglas admet l'air frais par la porte comme M. Lees, et il place en avant de la porte un auvent en fer forgé mobile, de la forme d'une pelle renversée (fig. 648 *a*). Quelquefois il supprime entièrement la porte. — Ce système, comme celui de M. Lees, ne donne une direction déterminée à la nappe d'air que sur une faible largeur.

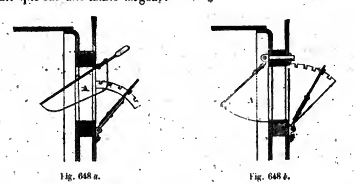


Fig. 648 *a*. Fig. 648 *b*.

Appareil Douglas modifié. — Sur l Eastern-Counties railway la disposition du foyer des locomotives est à très-peu de chose près celle du foyer Douglas; seulement l'auvent, formé d'une simple feuille de tôle rectangulaire (fig. 648 *b*) pouvant tourner autour d son arête supérieure, est beaucoup plus haut et plus large que celui de M. Douglas; par suite, il est plus efficace. Sur cette ligne, la consommation de houille en poids a été un peu plus grande que celle en coke, ce qui tient probablement plutôt à la nature de la houille qu'aux défauts de l'appareil.

Appareil Beattie. — M. Noblemaire décrit enfin un appareil extrêmement compliqué de M. Beattie, dont l'emploi ne nous paraît pas devoir être très-avantageux.

Conclusion. — *Les différents appareils décrits précédemment, celui de l'Eastern-Counties railway surtout, brûlent entièrement la fumée et consomment peu de combustible; mais, s'ils réussissent avec des houilles médiocrement fumeuses et variées de qualité d'Angleterre, il est douteux qu'ils produisent le même effet avec certaines houilles du continent, celles de Sarrebrück, par exemple.*

M. Clark décrit la plupart des foyers fumivores que nous venons de passer en revue d'après les indications de M. Noblemaire, plusieurs foyers abandonnés ou fonctionnant imparfaitement, et enfin les foyers suivants :

Foyer Clark. — Le foyer, fig. 646, p. 787, est de sa propre invention. Un nombre suffisant d'ouvertures tubulaires ou autres sont pratiquées sur les côtés ainsi que sur les faces antérieures et postérieures de la boîte à feu. Des jets de vapeur indiqués par des lignes divergentes sur le dessin poussent et distribuent l'air à l'intérieur de la boîte à feu; le mélange et la combustion de l'air et du gaz sont immédiatement opérés. L'action des jets de vapeur, qui créent de puissants courants d'air dans la boîte à feu, est analogue à celle du jet de vapeur dans la cheminée.

Cet appareil est employé sur le *Eastern-Counties railway;* il est tout à fait fumivore, dit M. Clark; le feu est clair; il y a abondance de production de vapeur et rendement économique. En inclinant les jets de vapeur vers le bas, l'air est projeté dans toutes les directions voulues sur le combustible et dans la fumée.

M. Noblemaire, qui a décrit aussi le foyer de M. Clark, ne pense pas que le mélange de la fumée et de l'air puisse s'y opérer convenablement.

Ce foyer n'ayant pas été essayé sur nos chemins français, nous n'émettrons aucune opinion sur son efficacité, qui nous paraît douteuse, au moins pour des houilles très-fumeuses.

Foyer Cudwroth. — M. Cudwroth, sur le *South-Eastern railway*, fait usage du foyer suivant, qui fonctionne bien. Une grille inclinée, dans cet appareil, est combinée avec un grand espace pour la combustion. Le combustible incandescent glisse en avant, et on charge la houille fraîche en haut près de la porte. La boîte à feu est divisée en deux compartiments par un bouilleur longitudinal; il y a ainsi deux foyers qui se réunissent devant les tubes.

Foyer Wilson. — M. Ed. Wilson, sur l'*Oxfort railway*, a prolongé quelques tubes à travers la boîte à fumée, et les a terminés en entonnoir. L'air s'y engouffre et passe dans la boîte à feu.

Foyer du London and North-Western railway. — Sur ce chemin, un cylindre creux de $0^m,30$ à $0^m,32$ de diamètre, en terre

réfractaire, a été placé au-dessus de la grille; il s'élève à travers le combustible vers le centre de la boite à feu, et son sommet est garni d'un couvercle percé, par lequel l'air se répand dans la boîte à feu sur le combustible et se mêle avec la fumée. On a aussi employé de la vapeur au lieu d'air, mais elle éteignait le feu.

Conclusion. — M. Clark n'est pas d'accord avec M. Noblemaire sur les résultats de l'emploi de la houille dans les locomotives.

De l'ensemble des essais faits, dit-il, dans les meilleurs foyers, il résulte que 3 kilogrammes de houille ont produit le même effet que 2 kilogrammes de coke.

Il ne semble pas, en outre, que la houille ait produit plus d'effet dans les foyers spéciaux que dans les foyers ordinaires.

Ces résultats s'accordent avec ceux de notre propre expérience. Aux chemins de fer de l'Est, la consommation de la houille en poids est à celle du coke dans les mêmes foyers comme 14 est à 10. Il est vrai que les houilles sont très-impures et que les cokes ont été fabriqués avec des houilles lavées.

Sur les mêmes chemins nous avons essayé les foyers anglais décrits par M. Noblemaire, et ils n'ont eu aucun succès pour la houille de Sarrebruck. Au chemin du Midi, où l'on brûle des houilles anglaises, ils ont mieux réussi.

Foyer Tenbrinck. — Depuis quelque temps un nouvel appareil (fig. 649 et 650) est en expérience sur les chemins de fer de l'Est; M. Tenbrink, ingénieur des ateliers d'Épernay, en est l'inventeur.

Cet appareil a jusqu'à présent donné de bons résultats; nous ne le considérons pas toutefois comme suffisamment éprouvé pour en faire l'éloge sans restriction. On lui reproche d'être coûteux d'établissement.

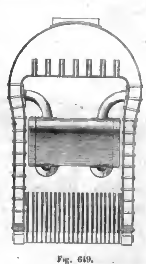


Fig. 649.

On voit, à l'inspection de la figure, que le combustible, chargé

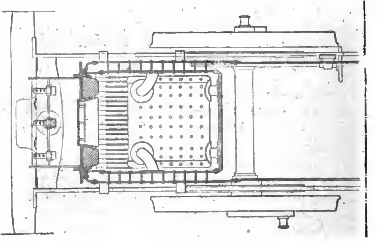


Fig. 650.

par une hotte, glisse sur une paroi inclinée pour descendre sur une grille horizontale. L'air frais est introduit, au-dessus du combustible, par un clapet d'ouverture variable placé sur le cornet. Un bouilleur incliné, placé au-dessus de la grille, opère le mélange de la fumée et de l'air frais, et augmente en même temps la surface de chauffe. L'eau pénètre dans ce bouilleur par des tuyaux recourbés partant de l'enveloppe du foyer.

Combustion des houilles sèches. — Certaines houilles sont très-fumeuses et n'ont pas sur les barreaux de la grille d'effet plus fâcheux que le coke; telles sont celles de Sarrebruck. D'autres, très-pures, produisent au contraire très-peu de fumée, mais développent une grande chaleur; elles détruisent rapidement les barreaux. Telle est la houille d'une partie du bassin du pays de Galles.

Pour protéger la grille lorsqu'on brûle les houilles de cette seconde espèce, dit M. Couche, on la recouvre de fragments de briques réfractaires, de manière à former une aire bien perméable sur laquelle on charge le combustible. A l'avantage de prolonger considérablement la durée du barreau se joint celui de brûler le menu, qui, au lieu de passer entre les barreaux, est retenu dans les interstices des fragments de briques et s'y brûle.

Cet expédient n'est applicable qu'à des charbons à la fois très-maigres et très-purs, ou du moins à cendre réfractaire.

Locomotives sur les routes ordinaires. — On a tenté un grand nombre d'essais, en Angleterre surtout, dans le but d'employer les locomotives sur les routes ordinaires. On est parvenu, sans de très-grandes difficultés, à les y faire circuler à de grandes vitesses; mais cela ne suffisait pas, il fallait encore qu'elles pussent marcher avec économie, et la dépense a toujours été excessive.

Ce résultat était du reste facile à prévoir. En effet, une machine roulant sur une route ordinaire pourra à plus forte raison rouler sur une voie ferrée. Or elle traînera sur la voie ferrée en plaine une charge huit ou dix fois plus considérable que sur la route. Le poids mort sur la route ordinaire, comparée au chemin de fer, sera donc excessif. Ce rapport sera encore bien plus défavorable sur des pentes de cinq centièmes, comme on en rencontre sur la plupart

des routes en France. La charge traînée même par des machines puissantes sera très-faible.

Une seconde objection faite à l'emploi des locomotives sur les routes ordinaires est puisée dans les variations de l'adhérence. Dans toutes les parties de la route sèches et en bon état il y aura excès d'adhérence: mais cette adhérence diminuera beaucoup sur les parties boueuses et dans celles qui auront été récemment rechargées.

Enfin les frais d'entretien des locomotives sur les routes seraient énormes. Ils sont déjà très-élevés sur un chemin de fer, qui est parfaitement uni; que deviendraient-ils sur une route, dont le sol présente toujours des inégalités plus ou moins sensibles, plus ou moins nombreuses?

Il faudrait donc, pour qu'on pût se servir avec quelque avantage des locomotives sur les routes ordinaires : 1° que le tracé en remplît à peu près les mêmes conditions que celui des chemins de fer, ce qui en rendrait l'établissement excessivement coûteux; 2° qu'on les maintînt dans un état d'entretien tel, que la surface en restât presque aussi unie que celle d'un chemin de fer, ce qui serait aussi fort dispendieux, si ce n'était absolument impossible.

Aussi a-t-on définitivement, en Angleterre comme en France, abandonné les essais tentés dans le but d'employer les locomotives sur les routes ordinaires.

Les personnes qui toutefois désireraient connaître les dispositions adoptées par Gurney et par d'autres qui se sont occupés de la construction des locomotives sur les routes ordinaires, trouveront les renseignements les plus complets à ce sujet dans un intéressant Mémoire publié en 1835 par M. Mary, inspecteur général des ponts et chaussées.

RÉSUMÉ

DU TRAITÉ

ET PRINCIPES QUI DOIVENT PRÉSIDER A LA CONSTRUCTION DES CHEMINS DE FER

COMPARAISON DES VOIES DE COMMUNICATION.

Routes. — Perpendiculaires aux voies de fer, les routes sont les premiers agents de leur prospérité.

Parallèles aux railways, les routes peuvent lutter avec avantage ou conserver du moins une activité suffisante lorsqu'il s'agit de courtes distances.

Les routes sont, en outre, toujours préférables aux chemins de fer dans les pays de hautes montagnes, pourvu toutefois que la voie de communication à établir n'ait pas pour objet la réunion de deux grandes lignes de chemins de fer, établis de l'un et de l'autre côté des montagnes.

Enfin il convient également de préférer les routes ordinaires aux chemins de fer lorsqu'on est appelé à desservir des contrées où la circulation n'a pas atteint ou ne paraît pas devoir atteindre promptement un certain degré d'activité.

En général, on trouve qu'il est peu avantageux, au point de vue financier, d'établir un chemin de fer si le mouvement n'est au moins de 60,000 à 80,000 tonnes parcourant la longueur entière, ou l'équivalent en voyageurs.

Canaux et rivières. — Les canaux sont impraticables dans certains pays accidentés où l'on construit au contraire des chemins de fer avec avantage.

De grands bassins houillers se trouvent dans les terrains de cette nature. Les chemins de fer ont contribué puissamment à en faciliter l'exploitation.

Dans les pays médiocrement accidentés, ou dans les pays de plaines, on peut établir des canaux aussi bien que des chemins de fer ; mais il est reconnu aujourd'hui que, si l'on tient compte de l'intérêt du capital engagé dans la construction des canaux aussi bien que de l'intérêt du capital engagé dans la construction du chemin de fer, le chemin de fer considéré comme moyen de transport seulement est *toujours* préférable au canal, au point de vue de l'économie des transports aussi bien qu'au point de vue de la rapidité.

La pratique et le raisonnement s'accordent pour prouver que, *dans l'état actuel de l'industrie*, les spéculateurs ne sauraient sans imprudence entreprendre l'établissement de nouveaux canaux destinés à servir de moyens de transport seulement.

Les canaux rendent, dans quelques pays, des services que l'on ne peut obtenir des chemins de fer, et qui sont de nature à leur faire accorder la préférence dans certains cas particuliers.

Ils servent à dessécher des marécages, à arroser des prairies, et amènent quelquefois l'eau dans les villes; ils fournissent encore de l'eau aux usines, ou bien ils alimentent des écluses de chasse. Quelquefois aussi ils produisent des effets tout contraires, convertissent par leurs filtrations les terrains du voisinage en marais infects, et privent d'eau les prairies et les usines.

La navigation des rivières, des lacs et de la mer, n'étant plus, comme celle des canaux, grevée généralement de l'intérêt d'un capital de construction, est, dans certains cas, plus économique, et peut opposer une concurrence redoutable aux chemins de fer.

Les chemins de fer sont un puissant moyen de défense pour le pays qui les possède, plus encore qu'ils ne sont un moyen d'attaque.

HISTOIRE DES CHEMINS DE FER.

Origine des chemins de fer. — Les premiers chemins de fer ont été construits en Angleterre, aux environs de Newcastle, vers l'année 1650. Le cheval et la gravité ont été les seuls moteurs employés sur ces chemins jusqu'en 1804. C'est en 1804 que fut essayée, également aux environs de Newcastle, en Angleterre, la première machine locomotive sur un chemin de fer.

Origine des chemins à grande vitesse. — Les chemins de fer à grande vitesse ne datent que de 1829, époque à laquelle fut inventée la machine locomotive à chaudière tubulaire par Marc Séguin. C'est alors seulement que les chemins de fer devinrent propres au transport des voyageurs et des marchandises en grande masse.

Construction des grandes voies ferrées dans les différents pays. — Les premiers chemins de fer de grande circulation furent construits en Angleterre. Les États-Unis et la Belgique suivirent l'Angleterre de près. L'Allemagne vint ensuite, puis la France. La Suisse n'a commencé son réseau de voies ferrées qu'en 1855. Toutefois, malgré la configuration défavorable du sol, elle sera dans quelques années l'un des pays les plus riches en voies métalliques. La Russie, l'Espagne, l'Italie, ont aussi entrepris depuis quelques années la construction des voies ferrées avec une grande vigueur. Les Anglais travaillent enfin avec activité à la réunion des principales villes de leurs possessions dans l'Inde par des chemins de fer.

Deux hommes ont marqué surtout dans l'histoire des chemins de fer, l'ouvrier mineur anglais Georges Stephenson et l'ingénieur civil français Marc Séguin.

NOTIONS GÉNÉRALES.

Avantages des chemins de fer sur les autres voies de communication. — Les principaux avantages des chemins de fer sur les autres voies de communication sont de permettre l'emploi de la machine à vapeur comme moteur dans les meilleures conditions;

et de réduire considérablement la résistance opposée au moteur, mais à la condition de ne présenter que de faibles pentes et des circuits d'un grand rayon.

Variation de la résistance. — La résistance croît rapidement, avec la pente, la vitesse, et en raison inverse du rayon de courbure.

Un cheval, une machine, un moteur quelconque, peuvent traîner sur un chemin de fer de niveau, en ligne droite, à une vitesse modérée de moins de six lieues à l'heure, une charge de sept à neuf fois aussi grande que sur une route ordinaire à la vitesse en usage sur les routes. A la vitesse de 60 ou 70 kilomètres par heure, un moteur quelconque capable d'atteindre cette vitesse ne traîne plus sur un chemin de niveau, en ligne droite, que le tiers ou le quart de la charge qu'il traîne sur les routes à la vitesse en usage.

Sur un chemin dont la pente est un peu forte, le frottement au pourtour des roues, qui joue un rôle important comme résistance sur un chemin en plaine, n'est plus qu'une petite fraction de la résistance totale, et l'emploi des locomotives qui ont leur propre poids à remorquer, devenant très-coûteux, cesse d'être avantageux. C'est ce qui fait que la pose des bandes de fer, qui a pour résultat de réduire ce frottement et de faciliter l'usage des locomotives, perd la plus grande partie de ses avantages.

Les chemins de fer ont été jusqu'à ce jour impraticables dans les pays de très-hautes montagnes, où cependant on a établi des routes.

Chemins à bandes saillantes et à bandes plates. — Les chemins à bandes saillantes obtiennent aujourd'hui généralement la préférence sur ceux à bandes plates.

Chemins à une et à deux voies. — Les chemins à deux voies sont préférables aux chemins à une voie pour un service d'une certaine activité (correspondant à une recette d'environ vingt mille francs par kilomètre au moins). L'exploitation en est plus facile. On considère à tort les chemins à une voie comme très-dangereux. Ils sont peut-être un peu moins sûrs que ceux à deux voies; toutefois les accidents sur les chemins allemands, dont la plupart sont à une voie, ont été beaucoup moins fréquents que sur les chemins anglais, presque tous à deux voies. Mais les chemins à une voie

ne donnent en général ce résultat satisfaisant qu'autant que la circulation y est médiocrement active, que les transports s'y opèrent à des vitesses modérées, et qu'on n'y fait un service de nuit qu'exceptionnellement.

TRACÉ DES CHEMINS DE FER.

La question du tracé des chemins de fer est en même temps technique, financière, commerciale et politique.

Tracés directs et indirects. — On s'est trop préoccupé, dans l'origine des chemins de fer, de diminuer la distance entre les stations extrêmes, en négligeant les localités intermédiaires, qui ont souvent une grande importance. Il importe, avant de fixer le tracé d'un chemin de fer, de bien déterminer l'importance réelle de chacune de ces localités.

Tracé des vallées et des plateaux. — Les premières grandes lignes de chemins de fer ont été établies parallèlement aux voies navigables, dans les vallées où existaient déjà des éléments du trafic, dans le but de développer ce trafic. Dans un grand nombre de circonstances toutefois on a avec raison placé des chemins de fer sur les plateaux.

Il n'y a donc pas lieu de poser en principe que le tracé des chemins de fer doit suivre les vallées ou les plateaux.

Emplacement des gares de voyageurs relativement au centre des villes — Les gares extrêmes de voyageurs ne doivent être rapprochées du centre des villes qu'autant que la dépense pour les rapprocher, dépense généralement considérable, serait en rapport avec les avantages qui en résultent.

Répulsion des habitants des villes pour les gares. — On a cru à tort, pendant longtemps, que les gares deviendraient des points d'attraction pour les habitants des villes. — Loin de là, il est démontré aujourd'hui qu'ils s'éloignent plutôt de ces centres bruyants. Les hôtels trop voisins des gares ont même rarement un grand succès.

Gares de marchandises placées en dehors des grandes villes. — Les gares extrêmes de marchandises, occupant de vastes terrains,

ont été généralement établies en dehors des villes, soit afin de les placer sur des terrains moins coûteux, soit pour soustraire les marchandises au droit d'octroi.

Gares communes. — Les gares communes ne sont avantageuses que sur les chemins de fer où la circulation n'a pas atteint l'extrême activité qu'elle a prise sur nos grandes lignes.

Le service dans les gares communes doit toujours être fait par une seule et même administration.

Maximum d'inclinaison des rampes et pentes. — Il faut, dans le tracé des lignes principales, se résigner à quelques sacrifices pour réduire l'inclinaison des rampes et pour agrandir le rayon des courbes.

Nous ne prétendons pas cependant imposer ici une règle absolue. Les sacrifices ont aussi leurs limites, et, avec des machines suffisamment puissantes, les fortes pentes, pourvu qu'elles ne dépassent pas un certain maximum, n'exerceront pas sur les frais d'exploitation une influence à beaucoup près aussi grande que celle qu'on leur avait supposée dans l'origine.

On ne craint pas aujourd'hui de construire même des lignes du premier ordre avec des pentes que l'on avait considérées comme entièrement inadmissibles il y a quelques années.

La limite de pente ordinairement adoptée dans les pays médiocrement accidentés est de 10 à 12 millimètres; dans les pays de montagnes, de 20 à 25 millimètres. On trouve cependant, sur le chemin de Turin à Gênes, des pentes de 3 centimètres et demi gravies par des locomotives. — L'état des rails, généralement humides et boueux dans les souterrains, y augmente la résistance, en sorte que, eu égard à la résistance, la pente de 3 centièmes en souterrain équivaut à une pente de 3 centièmes et demi à ciel ouvert. La pente dans les stations intermédiaires doit être nulle ou à peu près. Dans les stations extrêmes, elle doit être de 3 millimètres en descendant dans le sens du départ.

Mode de répartition des pentes. — Le mode de répartition des pentes sur un chemin de fer n'est pas sans importance. Les pentes variées, même d'une assez faible inclinaison, sont peu favorables à l'emploi des locomotives. Les pentes uniformes sont préférables.



Si toutefois la raison d'économie, devant laquelle le principe technique des pentes uniformes doit aussi plier, oblige à préférer une pente variée, il faut diviser autant que possible les lignes ou parties sur lesquelles l'effort varierait du simple au double ou à peu près.

Inclinaison avantageuse. — Une inclinaison très-avantageuse est celle pour laquelle l'effort du moteur est le même dans les deux sens, eu égard à la différence de chargement à la descente et à la remonte.

Concentration des fortes pentes. — Il faut autant que possible concentrer les fortes pentes en les allongeant plutôt que de les multiplier en les raccourcissant, et les placer dans le voisinage des points où la création des dépôts est nécessaire.

Les inconvénients des fortes rampes peuvent être aggravés ou amoindris par la direction du plus grand mouvement. Si ce plus grand mouvement s'opère à la descente, les fortes pentes sont moins désavantageuses. Elles sont également moins redoutables lorsque les convois sont généralement faiblement chargés, comme cela arrive sur certains chemins.

On s'effraye quelquefois des fortes pentes, parce qu'on suppose que sur ces pentes il est impossible de contenir les convois.

Elles ne sont certainement pas sans danger, mais on calculait mal les effets lorsqu'on proscrivait les pentes dépassant 5 millièmes comme exposant les voyageurs à la descente à de nombreux accidents. Il est reconnu aujourd'hui que sur une pente de 1 centième la résistance devient telle à la vitesse de 60 à 70 kilomètres par heure, que les convois abandonnés à eux-mêmes ne peuvent la dépasser, et que sur les plus fortes pentes en usage les freins et les machines-locomotives agissant elles-mêmes comme les freins les plus puissants lorsqu'on renverse la vapeur peuvent toujours arrêter les convois.

Inconvénients des courbes de petit rayon. — Sous le rapport de l'économie de premier établissement, les courbes de petit rayon sont avantageuses, puisqu'elles permettent de tourner les difficultés au lieu de les vaincre au moyen de grands travaux d'art et de terrassement; mais elles exercent sur les frais de traction la même

influence que les fortes pentes : elles forcent à réduire la vitesse des trains.

Les courbes de trop petit rayon deviennent aussi une cause d'accidents et d'usure du matériel.

Tranchées ou souterrains courbes. — Les tranchées ou souterrains courbes aux approches des stations sont toujours dangereux. Il faut les éviter autant que possible.

Parties du tracé qui admettent des courbes de petit rayon. — Les courbes de petit rayon et les fortes pentes étant en même temps des causes d'accroissement de résistance et d'accident, il faut autant que possible éviter de les placer simultanément sur un même parcours.

Les courbes de petit rayon doivent être évitées surtout dans les parties du chemin où les convois marchent généralement à de grandes vitesses. On peut diminuer le rayon aux abords des gares d'une certaine importance où tous les convois s'arrêtent, et dans l'intérieur de ces gares.

Courbes tournées en sens contraire. — Lorsque deux courbes tournées en sens contraire se trouvent à la suite l'une de l'autre, il faut les séparer par un alignement ayant la longueur des plus grands convois.

Rayon minimum des courbes. — Les courbes sur les grandes lignes à grande vitesse les mieux exécutées ont généralement de 800 à 1,000 mètres, sauf à l'approche des gares importantes, où elles n'ont que 500 mètres, ou dans l'intérieur de ces gares, où le rayon devient encore plus petit. Sur quelques chemins de fer d'Autriche, on n'a pas craint de réduire le rayon des courbes à 180 mètres; mais on ne marche sur ces chemins qu'à de petites vitesses (30 kilomètres à l'heure, avec des machines à 6 ou à 8 roues à essieux mobiles du système américain). Sur les chemins américains on est descendu même au-dessous de cette limite. — Les Allemands renoncent aujourd'hui assez généralement au matériel américain, donnant aux courbes de leurs nouvelles lignes de 500 à 600 mètres au moins de rayon.

Sur plusieurs chemins d'une certaine importance, construits récemment en France et en Suisse, on a adopté en quelques points,

par raison d'économie, des rayons de 300 à 350 mètres; mais alors on ralentit le train au passage de ces courbes.

La courbure du chemin, dans les changements de voie, où l'on marche toujours doucement, a pour limite minima 260 mètres.

Passages à niveau. — Les passages à niveau, quand, sur les alignements ou sur des courbes en remblais, on peut les apercevoir de loin, ne sont pas dangereux; mais il en est tout autrement s'ils se trouvent à l'extrémité de tranchées ou de souterrains courbes.

Il faut aussi éviter autant que possible de placer des passages à niveau à l'extrémité des gares sur des chemins fréquentés; mais souvent cela devient très-difficile.

Inconvénients des points de rebroussement. — Il ne faut recourir, dans les tracés, aux rebroussements que dans quelques cas particuliers où ils deviennent indispensables pour se rapprocher du centre des villes; et encore est-il nécessaire, dans ce cas, d'établir des courbes de raccordement pour éviter aux convois directs de pénétrer dans les stations où ils seraient obligés de rebrousser.

Passage des souterrains. — Le passage des souterrains n'est pas, comme on l'a prétendu, nuisible à la santé des voyageurs.

Les déblais ne doivent pas être nécessairement compensés par les remblais. — Dans le tracé des routes de terre on cherche ordinairement à compenser les déblais par les remblais. Plusieurs ingénieurs ont cru devoir, à tort, étendre cette règle au tracé des chemins de fer.

Il faut souvent détourner le tracé d'un chemin de fer pour éviter certains terrains difficiles ou recourir aux dépôts et aux emprunts.

Action des vents. — Il importe, en étudiant le tracé des chemins de fer, de se rendre compte de l'action que les vents peuvent avoir sur la marche des convois.

Influence des neiges. — Il faut aussi, dans les pays de montagnes surtout, diriger les tracés de manière à se préserver autant que possible des amas de neige. — Toutefois la neige est moins redoutable qu'on ne l'a supposé. On a exprimé la crainte que dans les pays de montagnes, et même dans les pays de plaines où le froid est rigoureux, elle ne devînt un obstacle insurmontable à l'exploi-

tation des chemins de fer en hiver. Cette crainte n'est pas fondée.

Considérations stratégiques. — On divise en général les voies de fer stratégiques en voies parallèles et voies perpendiculaires. Il est essentiel que les voies parallèles, surtout si elles sont voisines de la frontière, soient protégées par un obstacle naturel quelconque, tel qu'un grand fleuve où un rempart de hautes montagnes.

Dans le voisinage des places fortes les chemins de fer doivent etre, autant que possible, établis à la surface du sol.

Tracé au point de vue financier. — Le tracé le plus parfait au point de vue technique n'est pas toujours le plus convenable. Il n'est généralement avantageux d'améliorer un chemin de fer, et même une voie de communication quelconque, ou, en d'autres termes, d'adopter, pour ce chemin ou pour cette voie de communication, un mode de construction et un tracé plus parfaits en augmentant le capital engagé que lorsque la circulation est plus active.

Embranchements. — Le tracé d'un chemin de fer ne doit jamais être étudié isolément. Une des conditions auxquelles doit satisfaire le tracé de tout chemin destiné à unir de grands centres de population est donc de se prêter aisément à l'établissement d'embranchements. Le tracé de ces embranchements n'exige pas la même perfection que celui des lignes principales.

Étendue des gares ou stations. — La surface couverte par les gares extrêmes de chemins de fer, lorsqu'elles se trouvent dans de grandes villes comme Paris ou Londres, est considérable.

A Paris, les grandes gares de voyageurs couvrent une surface de 8 à 9 hectares. Celles de marchandises occupent jusqu'à 35 hectares.

La surface occupée par les grandes gares intermédiaires hors ligne, et par les gares terminales autres que les gares parisiennes, celles de Londres et de Bruxelles, abstraction faite de celles de Pesth, de Lyon et de Valenciennes, qui sont exceptionnelles, est de 8 à 12 hectares.

Pour les stations d'embranchements, abstraction faite de celle d'Épernay, qui contient de vastes ateliers, et de celle de Juvisy, qui est exceptionnellement petite, cette surface est de 6 et demi à 7 hectares.

Pour les stations de banlieue :

1° D'un chemin placé dans les conditions du chemin d'Auteuil, de 3,000 à 4,000 mètres carrés;

2° D'un chemin placé dans les conditions du chemin de Vincennes, de 10,000 à 20,000 mètres carrés.

Pour les stations intermédiaires de première classe, 3 à 6 hectares et demi, suivant l'importance et la nature du mouvement des marchandises.

Pour les stations intermédiaires de deuxième classe, 2 hectares et demi environ.

Pour celles de troisième classe, de 1 et demi à 2 hectares.

Pour celles du dernier ordre, de 1 demi à 1 hectare, rarement 1 hectare.

Dimensions de la voie. — La largeur de la voie sur tous les chemins de fer servant au transport des voyageurs, en France, en Belgique, en Suisse, ainsi que sur la plupart des chemins anglais et allemands, est de $1^m,50$ à $1^m,51$ d'axe en axe des rails, ou de $1^m,44$ à $1^m,46$ seulement si on la mesure de la face intérieure des rails.

On a adopté des largeurs plus grandes sur quelques chemins en Angleterre, sur les chemins d'Irlande, sur ceux de Hollande, d'Espagne et de Russie. Cette augmentation de largeur présente des avantages au point de vue de la construction des machines; mais, une partie d'un réseau étant déjà construite avec la largeur de $1^m,50$ ou $1^m,51$, comme le réseau français, le réseau belge ou le réseau suisse, ce serait à tort que l'on augmenterait la largeur des nouvelles lignes. Ces nouvelles lignes ne pourraient alors communiquer avec les anciennes qu'à l'aide d'un transbordement toujours très-fâcheux, surtout pour les marchandises.

La largeur de l'entre-voie est, sur la plupart des chemins français, de $1^m,80$. Cette largeur est insuffisante, et il serait convenable de l'augmenter; mais cette augmentation serait sans objet si tout le réseau parcouru par le même matériel roulant n'avait pas été établi avec la même largeur d'entre-voie.

La largeur des accotements varie, suivant la nature du terrain,

de 1 mètre à 3 mètres. En général, elle est de 1 mètre en tranchée et de 1^{m},50 en remblai.

La largeur et la profondeur des fossés dépendent de la quantité d'eau qui pourrait envahir le chemin. Une insuffisance des fossés peut donner lieu à de graves accidents.

La largeur moyenne de la bande occupée par un chemin dépend essentiellement de la nature des travaux de terrassement exécutés. D'après un relevé fait sur un assez grand nombre de chemins, elle est en moyenne de 34 mètres. Elle ne dépasse jamais 44 mètres.

FRAIS DE CONSTRUCTION

DEVIS ET PRIX DE CONSTRUCTION.

Le prix de construction des chemins établis a varié entre des limites fort écartées.

Il est important, en procédant par analogie pour l'établissement du prix des chemins à construire, de tenir compte de l'augmentation qu'ont subie généralement les prix de main-d'œuvre, ceux des matériaux, etc.

S'il est difficile d'établir exactement le devis d'une maison, à plus forte raison l'est-il d'établir celui d'un chemin de fer, composé d'éléments si divers. Il est surtout fort difficile de se rendre compte à l'avance du prix des terrains, qui dépend du caprice d'un jury; des surcroîts de dépense occasionnés par les exigences des localités et de l'administration supérieure, ou par les retards apportés à l'approbation des projets, retards qui ont pour conséquences des pertes d'intérêt souvent considérables; du prix de revient des terrassements ou des ouvrages d'art dans des terrains de mauvaise nature; de l'accroissement des prix de main-d'œuvre du fait même de la construction des chemins de fer, etc.

Moyenne des prix. — La moyenne des prix de construction a été :

Pour les chemins anglais d'environ.	530,000 fr.
Pour les chemins français.	391,000
Pour les chemins belges faits par l'État. . . .	270,000
Pour les chemins allemands de.	201,000
Pour les chemins américains de.	96,500

La moyenne pour les grandes lignes établies en France : Nord, Paris à Strasbourg, Paris à Lyon, Paris à Orléans, Paris au Havre, Lyon à la Méditerranée, est d'environ. . . . . 463,000 fr.

Ces prix comprennent le matériel d'exploitation.

Pour trois lignes de moindre importance, les chemins de Nancy à Sarrebrück, Metz à Thionville et Strasbourg à Wissembourg, la dépense moyenne, en supposant la seconde voie posée sur toute la longueur, serait de. . . . . 258,000 fr.

En supposant le chemin à une seule voie. . . 228,000

Nous admettons que les prix de nouveaux chemins *à une seule voie* d'une plus grande importance devront varier entre 250,000 fr. et 300,000 fr. le kilomètre, suivant l'importance.

Le capital de construction d'un chemin de fer s'accroît toutes les fois que le trafic, dépassant les prévisions, exige de nouveaux aménagements.

Avant-projet. — En France, on doit compter pour les frais d'études d'un avant-projet de chemin de fer :

Dans des circonstances difficiles. . . .	200 fr.	par kilom.
— ordinaires.	150	—
— faciles.	100	—

Études définitives. — Les études définitives sont beaucoup plus coûteuses : elles peuvent coûter de 1,000 à 2,000 fr. par kilomètre. On apprécie les autres natures de dépense de la manière suivante :

Subdivision des moyennes. — Moyenne pour plusieurs grandes lignes :

Administration et frais généraux à.	17,000 fr.
Achats de terrain.	65,000
Terrassements et travaux d'art.	150,000
Bâtiments des stations, ateliers, etc.	48,000
Double voie, ballastage compris, plates-formes et changements de voie.	122,000
Matériel d'exploitation.	61,000

Pour des chemins à une voie d'une importance beaucoup moindre, la dépense moyenne se subdivise de la manière suivante :

Frais généraux, environ.	11,000 fr. par kilom.	
Acquisition de terrains pour deux voies..	31,000	—
Terrassements et ouvrages d'art pour deux voies.	76,000	—
Voie de fer et accessoires.	66,000	—
Gares et dépendances.	10,000	—
Dépenses diverses.	10,000	—
Matériel roulant..	24,000	—

Terrain occupé. — La superficie de terrain occupée par un certain nombre de chemins à deux voies, dans des conditions moyennes en France, a été par kilomètre de 3 hectares 37 ares, le prix moyen de l'hectare 9,000 fr.

Cube et prix des terrassements. — Le cube des terrassements a été, dans des conditions très-favorables (chemins belges), de 12 mètres cubes et demi par mètre courant; dans des conditions moyennement favorables, de 25 à 35 mètres cubes; dans des conditions très-défavorables, 72 mètres cubes (chemin de Versailles, rive gauche).

Le prix du mètre cube de terre, transport sur la ligne compris, a été :

Dans des conditions très-favorables (chemins belges).	0 fr.	76 c.
Dans des conditions moyennement favorables. .	1	50
— peu favorables.	2	00
— très-défavorables de 2 fr. 50 à	3	50

Prix des éléments de la voie. — Le prix des rails à l'usine, en France, est aujourd'hui (mars 1860) de 22 à 23 fr. le quintal métrique.

Celui des coussinets de 19 francs, des traverses de 50 fr. le mètre cube.

Devis du matériel roulant. — Le parcours moyen des machines-locomotives ordinaires à voyageurs et à marchandises est d'environ 25,000 kilomètres par an.

Celui des machines Crampton est d'environ 50,000 kilomètres.

On doit donc, pour se rendre compte du nombre de machines nécessaires pour l'exploitation d'un chemin de fer, faire une hypothèse sur le nombre de kilomètres parcourus annuellement par les trains ou portions de trains attelés d'une machine ordinaire, et diviser ce nombre par 25,000 pour avoir le nombre de machines ordinaires à voyageurs ou à marchandises; faire une hypothèse sur le nombre de kilomètres parcourus par les trains express attelés d'une machine Crampton, et diviser ce nombre par 50,000 pour avoir le nombre de machines Crampton.

Pour les waggons, le calcul du matériel nécessaire est plus difficile; il faut en rechercher les nombreux éléments dans le texte du traité.

MARCHÉS A PASSER POUR L'EXÉCUTION DES CHEMINS DE FER.

Graves défauts des marchés à forfait. — Bien des personnes pensent qu'on peut éviter des mécomptes en passant des marchés à forfait pour la totalité de l'exécution d'un chemin. La pratique a démontré la fausseté de cette opinion.

L'entrepreneur à forfait, s'il ne demande un prix excessif pour couvrir les risques qu'il court, est exposé à subir des pertes considérables; dans ce dernier cas, il abandonne son cautionnement et laisse la Compagnie dans l'embarras, ou il plaide et gagne souvent son procès. Les modifications toujours nécessaires en cours d'exécution deviennent fort difficiles ou au moins fort coûteuses. Les travaux enfin sont ordinairement médiocrement exécutés. L'entrepreneur étant souvent plus puissant que les administrateurs, il est très-difficile de le surveiller.

Si le traité à forfait doit être repoussé, c'est surtout lorsqu'il est proposé par les fondateurs d'une Compagnie à leurs associés, les fondateurs devenant eux-mêmes entrepreneurs tout en restant administrateurs.

Marchés sur séries de prix. — Le mode exclusivement adopté pour l'exécution des travaux par l'administration en France et par plusieurs Compagnies importantes a été celui sur séries de prix.

Aujourd'hui, les Compagnies entreprenant d'immenses travaux

qui doivent s'exécuter rapidement avec de puissants moyens d'action, et dont la surveillance est d'autant plus difficile qu'ils s'étendent sur un plus grand espace; l'intervention des grands entrepreneurs semble nécessaire et obtient ordinairement la préférence.

L'État passe généralement les marchés par voie d'adjudication sans se montrer trop sévère sur le choix des concurrents. Il obtient souvent de cette manière de grands rabais qui sont parfois excessifs, et les entrepreneurs ruinés abandonnent les travaux. Les Compagnies choisissent leurs entrepreneurs et fixent les prix avec eux à l'amiable, ou, si elles recourent à l'adjudication, elles n'admettent au concours que des entrepreneurs placés au premier rang pour la capacité et pour la solvabilité.

TERRASSEMENTS ET OUVRAGES D'ART.

TERRASSEMENTS.

Les terrassements se font par compensation ou par voie de dépôt et d'emprunt.

Dépôt et emprunt. — Le mode d'exécution par voie de dépôt et d'emprunt est toujours plus coûteux que celui par compensation quand les distances auxquelles les terres doivent être transportées sur l'axe de la route ne sont pas considérables et que les terrains où l'on doit déposer les terres ou les emprunter ont quelque valeur; mais il peut l'emporter sur le second, même au point de vue de la dépense, quand ces distances deviennent très-grandes, et, dans tous les cas, il est fort expéditif.

Véhicules employés. — Le transport des terres s'opère à la brouette, au tombereau ou au waggon.

En général, on trouve de l'avantage à employer la brouette tant que la distance à parcourir ne dépasse pas 50 mètres. Le camion traîné par des hommes est préférable pour des distances de 50 à 150 mètres; le tombereau traîné par des chevaux, pour des distances de 150 à 300 mètres; le waggon, pour les distances dépassant 300 mètres, pourvu que le cube à enlever soit de 100,000 mè-



tres cubes au moins, ou pour des distances dépassant 500 mètres, pourvu que le cube à enlever soit de 25,000 mètres au moins.

Les camions et le tombereau sont remplacés avec avantage par des waggonnets. L'emploi des waggonnets est avantageux, surtout quand la pente atteint 4 centimètres, et dans les terrains glaiseux.

Terrassements au waggon. — Quand on emploie le waggon, il faut, sauf quelques cas exceptionnels, commencer par percer une cunette dans toute la longueur des tranchées, pour loger les voies de fer et les waggons.

La plus grande difficulté à vaincre est d'établir l'harmonie entre la charge et la décharge.

On augmente la masse des terres chargées dans un temps donné en multipliant les points de chargement, et celle des terres déchargées en multipliant les points de déchargement, ou en adoptant les baleines comme moyen de déchargement.

On fait aujourd'hui rarement usage des baleines.

Un terrassement marche assez rapidement lorsqu'on enlève 500 mètres cubes par jour à chaque extrémité d'une tranchée. Quelquefois on dépasse sensiblement ce cube. A la tranchée de Clamart on a enlevé et transporté à 2,000 mètres de distance jusqu'à 1,400 mètres cubes à une seule extrémité dans les grands jours d'été.

Asséchement des tranchées. — Les talus des tranchées sont souvent ébouleux. C'est généralement les eaux dont ils sont imprégnés qui en occasionnent l'éboulement. On les maintient en les soutenant ou les desséchant.

On distingue parmi les méthodes de soutènement ou asséchement :

1° La méthode des gros murs en pierre sèche construits au pied du talus;

2° Celle des murs en pierre sèche couchés sur le talus;

3° Celle des épis en pierre sèche pénétrant dans le talus;

4° La méthode Sazilly;

5° La méthode des pierrées en amont;

6° La méthode des collecteurs.

Les gros murs en pierre sèche au pied du talus sont générale-

ment peu efficaces. Les murs couchés sur le talus sont préférables. La méthode Sazilly, *bien appliquée*, a réussi dans un grand nombre de cas lorsque les éboulements sont occasionnés par des sources suintant à la surface; mais, lorsque les masses d'eau sont considérables et s'étendent à une grande profondeur dans le talus, il faut recourir à la méthode des épis, des pierrées en amont ou des collecteurs. Quelquefois on est obligé d'employer la méthode Sazilly simultanément.

Confection des grands remblais. — Les grands remblais se font au tombereau ou au waggon. Les remblais faits au tombereau sont plus denses. Ils tassent moins, mais ils seraient presque toujours trop coûteux.

Les remblais sont sujets à s'ébouler :

1° Lorsqu'ils sont composés de mauvaises terres (terre glaise);

2° Lorsque, composés de bonnes ou de mauvaises terres, ils reposent sur un terrain flexible ou très-incliné.

On dirige le tracé de manière à éviter autant que possible les tranchées et les remblais glaiseux.

On prévient l'éboulement des remblais glaiseux en les préservant de l'action de l'eau :

1° Au moyen de fossés ou de pierrées qui interceptent les eaux qui pourraient en délayer le pied ;

2° En pilonnant la terre glaise pour éviter les vides et intercalant des bancs de pierre et de sable dans cette terre;

3° En recouvrant le noyau en glaise de bonne terre pilonnée.

On prévient l'éboulement des remblais reposant sur un terrain flexible ou très-incliné :

1° En desséchant le terrain flexible, si, comme c'est généralement le cas, il est imprégné d'eau ;

2° En donnant de l'empatement au remblai ;

3° En diminuant le poids du remblai par la construction de voûtes en pierre sèche ;

4° En répartissant mieux la pression au moyen de lits de fascines ;

5° En en soutenant, sur les terrains inclinés, le pied par des épaulements.

Reconstruction des talus éboulés. — Les talus des tranchées ou des remblais éboulés se reconstruisent ordinairement au moyen d'épis en pierre sèche, entre lesquels on pilonne de la terre, ou au moyen de terres pilonées désséchées par des pierrées.

OUVRAGES D'ART.

Avantages ou inconvénients eu égard aux matériaux employés. — Les ouvrages d'art sont en bois, en pierre, en brique, en fonte, en fer forgé, en fonte et fer.

Les ouvrages d'art en bois sont ordinairement très-économiques de construction, mais durent fort peu de temps, surtout quand ils sont exposés à l'action de l'air humide. On y renonce, sauf quelques cas exceptionnels, sur les grandes voies de circulation.

La pierre est très-durable, si ce n'est dans les pays très-froids ; elle est souvent plus économique que la brique ou le métal, mais elle ne permet pas de donner de grandes portées aux travées ou de conserver au débouché une hauteur constante, et se prête moins bien à la construction des ponts très-biais que la brique ou le métal.

La brique convient dans les pays où la pierre est rare ; mais elle est moins durable, moins solide.

La fonte n'offre pas les mêmes garanties de résistance que la pierre ou le fer forgé. Elle peut contenir des soufflures invisibles qui en altèrent la résistance. Elle ne permet de conserver au débouché une hauteur constante que lorsque la portée ne dépasse pas 7 ou 8 mètres. Pour des portées plus grandes on doit l'employer sous forme d'arcs, et sous cette forme elle n'admet pas de portées de plus de 70 à 75 mètres.

Les ponts en fonte sont enfin, souvent dans les mêmes conditions, plus coûteux que ceux en fer.

Le fer admet de très-grandes portées avec un débouché de hauteur constante. (Pont tubulaires ou en treillis). Mais il est à craindre que les ponts en fer forgé ne se détruisent à la longue par l'oxydation ou par le jeu des rivets.

La fonte et le fer s'associent mal à cause de leurs différences de dilatabilité et d'élasticité.

Eu égard à la forme, on distingue les ponts en bois dans le système de Gauthey ou Viebeking, avec arcs sous le tablier; de Bürr, avec arcs sur le tablier; avec garde-corps rigides en treillis de Town, de Long et de Howe.

Les ponts dans le système de Viebeking et de Howe sont les seuls en usage aujourd'hui. Les ponts en treillis, fort employés il y a une vingtaine d'années, n'offrent pas une résistance suffisante. Les ponts avec garde-corps rigides de Howe sont souvent plus coûteux que les ponts avec arcs sous le tablier; mais ils sont plus faciles à visiter, à entretenir, et conservent encore quelque valeur (celle des grands boulons) quand le bois est pourri.

On a cru longtemps nécessaire de donner une grande masse aux ponts en pierre et en métal établis sur les chemins de fer, afin qu'ils puissent résister aux effets destructeurs des vibrations produites par le passage des trains. Aujourd'hui on est revenu de cette erreur, et on construit sur les chemins de fer des ouvrages d'art très-légers en pierre ou en métal, qui sont en même temps très-solides.

Les ponts sont en plein cintre ou surbaissés; les viaducs sont le plus souvent en plein cintre.

Aujourd'hui, lorsqu'on peut se procurer de bons moellons, on supprime presque entièrement la pierre de taille dans la construction des viaducs.

On emploie pour la construction des ponts biais en pierre différents appareils, orthogonal, anglais ou hélicoïdal et cycloïdal. Les deux derniers sont aujourd'hui les plus employés.

Les arches des grands ponts en fonte sont aujourd'hui composées de voussoirs métalliques dont la surface de joint est soigneusement planée.

Les ponts en fer forgé sont en poutres droites, en arcs, en poutres tubulaires, en treillis, ou sous forme de *bowstring*.

Le bowstring ne pourrait convenir que dans quelques cas particuliers, et est, dans tout cas, peu employé.

Les ponts tubulaires en tôle sont répandus en Angleterre. En Allemagne, on préfère les treillis.

La plus grande portée d'une travée de pont tubulaire est celle des travées extrêmes du pont de Menai. Cette portée est de 140 mètres.



Plusieurs ponts suisses en treillis portent une route et un chemin de fer, la route se trouvant sous le chemin de fer.

Les deux voies portées par un pont tubulaire ou en treillis sont quelquefois indépendantes. La première disposition est préférable au point de vue théorique; la seconde est plus économique.

On a fait passer aux États-Unis un chemin de fer sur un pont suspendu, celui du Niagara, dont la portée est de 246 mètres. Le garde-corps est rigide et porte une route sous le chemin de fer. Ce pont est soigneusement haubanné et contreventé. Il résiste bien.

CONSTRUCTION DE LA CHAUSSÉE.

Il est essentiel que la chaussée qui porte la voie en fer soit toujours aussi sèche que possible. Il ne faut donc négliger aucun moyen de donner écoulement aux eaux qui pourraient la détruire.

Un bon ensablement de la voie est une condition de durée pour le chemin et de sécurité pour les voyageurs.

L'épaisseur ordinaire de la chaussée en ballast est de 50 centimètres. On augmente l'épaisseur sur un sol difficile à bien assécher. On draine quelquefois le sol sous le ballast.

Le ballast en sable ne doit pas être trop fin. Les grains de sable doivent être d'une certaine grosseur. Il ne doit pas être très-argileux; mais il est bon qu'il renferme une petite quantité d'argile qui lui donne de la consistance sans nuire au passage de l'eau.

Toute substance perméable, pourvu qu'elle ne donne pas beaucoup de poussière, est propre à faire du ballast.

ÉTABLISSEMENT DE LA VOIE.

La voie est fixée à des traverses en bois ou à des dés en pierre. Les dés en pierre, manquant d'élasticité et laissant les deux files de rails indépendantes l'une de l'autre, sont aujourd'hui généralement abandonnés en France et en Angleterre. En Bavière, on continue à les employer, mais seulement sur un terrain solide. Sur les remblais, toujours sujets à tasser, on fait exclusivement usage de traverses en bois.

On a essayé de substituer les traverses en fer ou en fonte aux traverses en bois. On y a renoncé, parce qu'elles manquent d'élasticité, de base ou même de poids, si on ne leur donne pas de très-grandes dimensions.

Conservation des traverses. — On a essayé un grand nombre de procédés ayant pour objet de préserver les traverses de la pourriture. Les uns consistent à immerger la traverse dans le liquide préservatif froid ou bouillant, les autres à le faire pénétrer par différents moyens dans le corps de la traverse.

Les procédés par immersion ont été reconnus insuffisants.

Un procédé parmi ceux de la seconde classe, celui du docteur Boucherie, paraît être tout à fait efficace pour la conservation des traverses en sapin, hêtre, etc., qui, dans leur état naturel, seraient très-rapidement détruites; mais il est inapplicable aux traverses en chêne; le docteur Boucherie emploie comme liquide la dissolution de sulfate de cuivre. En Angleterre, on fait grand usage de créosote impure. Ce dernier réactif serait en France très-coûteux.

Forme et dimensions. — On a renoncé aux traverses triangulaires, et on abandonne presque généralement, en France du moins, les traverses en rondins contenant une grande quantité d'aubier. Les traverses préférées sont celles en bois équarri. Il faut, pour que le chemin ait la stabilité nécessaire, que, la voie ayant 1^m,50 de largeur, les traverses aient 2^m,60 au moins de longueur.

Rails divers. — Les rails sont en fer ou en bois et fer. Les rails tout en fer sont fixés aux traverses, tantôt par l'intermédiaire de coussinets en fonte, tantôt directement. Les coussinets en fonte ont été fixés à la traverse par des chevilles en fer ou par des chevilles en bois comprimé. Les chevilles en bois sont aujourd'hui abandonnées, parce qu'elles pourrissent rapidement à la jonction du coussinet avec la traverse.

Les rails ont été fixés aux coussinets par des coins en bois ou en fer; on a renoncé aux coins en bois comme opérant un serrage imparfait et comme manquant d'élasticité. On a employé des coins en bois comprimé, mais on y a renoncé; on préfère les coins en bois non comprimé.

Les rails en fer sont fixés à la traverse par des crampons ou crossettes.

On a employé des rails en fonte; mais ils étaient trop fragiles, plus coûteux que les rails en fer laminé à résistance égale et trop courts. Les rails en fer laminé sur un chemin livré à la circulation ne se détruisent pas par l'oxydation, comme on le craignait. Il paraît que le passage des convois sur le rail donne lieu à un développement de courants électriques qui préviennent l'oxydation. Ils se détruisent par l'exfoliation, ce qui tient aux procédés de fabrication.

On se sert, pour les chemins de fer provisoires, de rails qui ne sont autre chose que des barres de fer laminées posées de champ. Ces rails fort économiques n'offriraient pas une résistance suffisante pour les chemins définitifs, sur lesquels on marche à de grandes vitesses avec de lourds convois. On leur préfère les rails à champignons.

On distingue les rails à simple de ceux à double champignon. Les opinions des ingénieurs sur le mérite de ces deux espèces de rails sont partagées.

La plupart de nos grandes lignes de chemins de fer en France sont construites avec des rails à double champignon fixés à la traverse par des coussinets; quelques-unes avec des rails à simple champignon. En Allemagne, on a presque généralement donné la préférence au rail à simple champignon et à patins, connu sous le nom de rails Vignolles. Ce rail permet de supprimer le coussinet. En France on commence à l'adopter même pour des lignes importantes. Il paraît offrir toute garantie de solidité, mais à la condition de relier les rails par des éclisses.

On renonce à l'emploi du rail en bois et fer dit rail Brunel, ainsi qu'au rail tout en fer dit rail Barlow.

Coussinets-éclisses. — On fait usage avec avantage sur plusieurs lignes de coussinets-éclisses.

Poids des rails. — Les rails en fer laminé de nos grandes lignes ont même hauteur dans toute leur longueur. Ils pèsent 37 kilogrammes par mètre courant, et ont 6 mètres de longueur. Les premiers rails en fer laminé employés en 1829 ne pesaient que 13 kilogrammes par mètre courant. On en a augmenté le poids

successivement au fur et à mesure que l'on augmentait le poids des machines. Ils pèsent aujourd'hui sur les grandes lignes de 36 à 38 kilogrammes.

Les coussinets en fonte pèsent de 10 à 12 kilogrammes pièce.

Durée des traverses. — Les traverses équarries en bon bois de chêne ne durent pas au delà de douze à quinze ans.

La durée de celles en hêtre préparé est inconnue. Les rails, sur un chemin très-fréquenté, doivent être remplacés après douze ans d'usage environ.

Durée des rails. — On se préoccupe beaucoup aujourd'hui d'augmenter la durée des rails en en améliorant la fabrication. Les rails sont fabriqués généralement au moyen de trousses composées de deux espèces de fer, fer n° 1 ou fer puddlé, et fer n° 2. Ces deux espèces de fer se soudent mal; c'est ce qui amène l'exfoliation ou dessoudure des rails. On a fait des rails qui paraissent excellents avec du fer puddlé seulement, mais il faut que ce fer puddlé soit pour cela préparé par des procédés particuliers et provienne de très-bonnes fontes. On améliore le soudage des trousses aussi en les martelant. On exige aujourd'hui des fabricants une garantie de deux à trois années.

Cahier des charges. — Le fer qui compose les rails doit être dur pour résister au frottement, et tenace pour résister à la rupture. La cassure des fers de cette espèce devrait présenter un mélange de grain et de nerf. Dans les rails, c'est le grain qui domine et paraît seul sensible à l'œil. On fabrique en Allemagne de bons rails Vignolles dans lesquels le champignon et le corps du rail sont grenus, tandis que le patin est nerveux. La cassure grenue passe à la cassure nerveuse par des degrés insensibles.

On n'a admis pour les premiers chemins de fer construits aux environs de Paris que des fontes de seconde fusion; mais l'expérience a prouvé que celles de première fusion bien choisies étaien d'un très-bon emploi.

Voies sur plateaux et Barberot. — Les voies placées sur plateaux en fonte ont eu peu de succès. Elles manquent de stabilité et se dérangent facilement. Celles posées sur plateaux en bois (système Pouillet) sont préférables. On a établi dans ce dernier système

le chemin de ceinture aux environs de Paris et une partie importante de la ligne du Nord. Les voies dans le système Barberot, avec cales en bois remplaçant le coussinet, sont à l'essai. Aux joints le coussinet paraît nécessaire.

PASSAGES A NIVEAU, CLÔTURES, CONTRE-RAILS.

Disposition des passages à niveau. — Si le passage à niveau ne doit servir qu'aux piétons, la voie, à l'emplacement de ce passage, ne subit aucune modification; mais, si les voitures ont accès sur le passage, il est nécessaire de la noyer dans le pavé sur toute la longueur de la route. Du côté de l'axe de la voie on ménage dans le sol une rainure, où se loge le bourrelet des roues.

Clôtures. — Les clôtures sont en bois, composées de treillages plus ou moins simples, de 1^{m},40 de hauteur, fixés à des poteaux espacés de 1^{m},50, de lisses en bois clouées à des poteaux, ou enfin de fils de fer galvanisés fixés aux poteaux. Les meilleurs treillages sont formés de lattes épointées ou de simples échalas, unis les uns aux autres par des fils de fer tressés.

Les clôtures en treillages ou en lisses ne sont que provisoires. On plante généralement à côté des haies qui, au bout de quelques années, doivent les remplacer.

Contre-rails. — Sur toutes les nouvelles lignes en France on a supprimé les contre-rails comme rendant l'entretien de la voie plus difficile et comme insuffisants pour prévenir les accidents.

ACCESSOIRES DE LA VOIE.

Changements de voie divers. — Les changements de voie à rails mobiles sont abandonnés comme dangereux pour les voies définitives.

Le seul changement de voie en usage aujourd'hui est celui de Vild, avec les aiguilles égales et la pointe de l'aiguille logée sous le champignon.

Ces changements de voie sont manœuvrés à l'aide de leviers munis d'une barre à contre-poids que l'on déplace en la faisant passer d'un côté à l'autre du levier.

On fait grand usage dans les gares de changements à trois voies.

Croisements. — Les croisements de voie sont aujourd'hui tout en fer ou en acier, sauf les pattes de lièvre.

Le cœur est d'une seule pièce fabriquée à l'étampe.

On a employé d'abord pour les parties les plus fatiguées des changements et croisements de voie le fer aciéré seulement; aujourd'hui on emploie de préférence sur un grand nombre de lignes l'acier puddlé ou même l'acier fondu. Le prix de l'acier fondu est malheureusement un peu trop élevé encore pour que l'usage s'en soit répandu.

Plaques tournantes. — Les plaques tournantes sont en bois, en fonte ou en tôle. Les plaques en bois ne doivent être employées que sous des remises à couvert. Celles en fonte sont placées sur les voies de garage, où ne passent pas les trains marchant à grande vitesse. Celles en tôle sur les voies principales.

On pose les plaques tournantes économiquement sur une fondation en sable.

Les grandes plaques pour machines et tenders sont manœuvrées au moyen d'un engrenage qui fait marcher des galets sur le rail circulaire établi au fond de la fosse. On se sert quelquefois pour la manœuvre d'une petite machine à vapeur fixée sur la plaque.

Chariots. — Les chariots sont de différentes espèces. On remplace dans plusieurs circonstances les plaques tournantes par le chariot Dünn. On manœuvre aussi quelquefois le chariot avec une machine à vapeur, comme les plaques.

Grues hydrauliques. — Les grues hydrauliques à réservoir sont employées avec avantage dans les gares où les convois ne doivent s'arrêter que très-peu de temps pour l'alimentation du tender.

Signaux fixes. — Les signaux fixes doivent pouvoir se manœuvrer à une grande distance. Différents systèmes ont été essayés pour que cette manœuvre s'opère toujours rapidement et avec sûreté dans tous les temps. On rencontre quelque difficulté à constater le déplacement du disque, et, la nuit, l'état de la lanterne, à une grande distance et dans des courbes en tranchée lorsqu'on ne peut les apercevoir du point où l'on se trouve placé pour la manœuvre.

On emploie avec avantage sur plusieurs lignes, pour indiquer la position du disque, les trembleurs électriques.

Le disque *automoteur* Limouse fonctionne bien, mais il présente l'inconvénient de tous les appareils automoteurs, celui d'inspirer une sécurité quelquefois trompeuse, parce que l'appareil peut se déranger naturellement ou être dérangé par des malveillants.

DISPOSITION DES GARES.

GARES EXTRÊMES.

Couverture des trottoirs. — Sur les chemins anglais et français, les voies longeant les trottoirs qui reçoivent les voyageurs, pour le départ ou à l'arrivée, sont toujours couvertes, ainsi que les trottoirs eux-mêmes et les voies intermédiaires.

En Angleterre, on couvre même l'espace où stationnent les voitures qui amènent ou attendent les voyageurs.

Nous regardons comme indispensable de couvrir les trottoirs et les voies entre les trottoirs, non-seulement dans l'intérêt des voyageurs, mais aussi pour la conservation du matériel qu'on est obligé de laisser stationner sur les voies.

Il convient de faire, autant que possible, descendre les voyageurs de voiture ou de les y faire monter à couvert. Il convient aussi d'abriter, comme aux chemins de Lyon et de l'Ouest, les voitures qui attendent les voyageurs.

Service des marchandises. — Le service des marchandises, dans toutes les nouvelles gares anglaises et françaises, a lieu dans un emplacement tout à fait distinct de celui qui est consacré aux voyageurs.

Voies diverses entre trottoirs. — Le plus généralement, les convois partent toujours sur la même voie, qui est la voie de départ, et arrivent aussi sur une même voie, qui est la voie d'arrivée. Ces deux voies, séparées par les voies de remisage, sont bordées l'une par le trottoir de départ, l'autre par le trottoir d'arrivée (gares parisiennes). Quelquefois cependant la voie de départ et la voie d'arrivée sont contiguës, et un seul et même trottoir échancré

sert en même temps pour le départ et l'arrivée (gare de Derby). Enfin, il arrive aussi, quoique rarement, que les mêmes voies et les mêmes trottoirs servent alternativement pour le départ et pour l'arrivée (Versailles, rive droite).

Cours. — De quelque manière que soient placés le bâtiment des salles d'attente et le bureau, il est convenable qu'il existe, du côté du départ aussi bien que du côté de l'arrivée, une cour fermée par une grille.

Plaques aux extrémités. — Les plaques tournantes placées à l'extrémité des gares terminales ont pour objet de retourner les machines bout pour bout, manœuvre nécessaire, parce que les machines doivent marcher toujours en tête des convois en les traînant, et jamais en arrière en les poussant. Ce n'est que rarement et par exception que l'on doit marcher avec le tender en avant. Toutefois, sur certains chemins des environs de Londres où les départs sont très-fréquents, le service, pour éviter les retards, se fait régulièrement tender en avant.

Chariots. — Dans plusieurs gares où les machines ne pénètrent pas jusqu'au fond de la gare, comme par exemple la gare de Strasbourg, sur le chemin de fer de l'Est, on substitue un chariot aux plaques tournantes.

Heurtoirs. — On néglige souvent de placer des heurtoirs à l'extrémité des gares; ils sont cependant indispensables, sur *toutes* les voies, et plus particulièrement quand le bâtiment des salles d'attente est en tête.

Salles d'attente et de bagages. — Les salles d'attente ainsi que les salles pour le dépôt des bagages partant ou arrivant sont placées à côté du trottoir de départ (Lyon) ou en tête de la gare (Nord). — Il vaut mieux les placer sur le côté qu'en tête de la gare. La salle pour le dépôt des bagages partant doit être placée vers l'extrémité postérieure de la gare; vis-à-vis ou à peu près du point où se trouve ordinairement le waggon à bagages. La salle pour le dépôt des bagages arrivant doit être placée à l'autre extrémité de la gare.

Les salles d'attente en tête de la gare ne peuvent convenir que dans le cas tout particulier d'un chemin de banlieue sur lequel on ne transporte pas de bagages, et où il peut devenir utile de

faire passer les voyageurs successivement d'un trottoir à l'autre.

Salles pour la messagerie. — Les salles pour le dépôt de la messagerie partant ou arrivant sont ordinairement placées à l'extrémité postérieure de la gare, à droite et à gauche.

Distribution des billets. — Les bureaux pour la distribution des billets doivent toujours être placés entre les salles pour le dépôt des bagages et les salles d'attente, ou, en d'autres termes, la salle pour le dépôt des bagages ne doit jamais se trouver sur le chemin des voyageurs qui, après avoir pris leurs billets, se rendent aux salles d'attente.

Embarcadères. — Les embarcadères pour chevaux et chaises de poste se trouvent ordinairement à l'extrémité postérieure de la gare, près des bureaux de la messagerie.

Contrôle. — Sur plusieurs chemins de fer on recueille les billets en faisant arrêter le convoi avant d'entrer sous la gare couverte Le contrôle se fait mieux de cette manière que lorsqu'on recueille les billets à la descente sur le trottoir d'arrivée. Quelquefois aussi on recueille les billets dans la dernière station intermédiaire; mais le personnel de cette station est souvent insuffisant.

Dimensions et disposition des salles d'attente. — En France, les salles d'attente sont très-grandes et restent ordinairement fermées jusqu'au moment du départ. En Angleterre, elles sont petites et restent ouvertes ; les voyageurs, dans ce dernier cas, circulent librement sur le trottoir ou montent dans les voitures. S'il est nécessaire de les diviser en plusieurs classes, la séparation se fait au moyen de barrières. Le mode anglais nous paraît préférable au mode français.

Il est très-important que les salles d'attente soient bien aérées et qu'elles communiquent avec le trottoir par un nombre de portes suffisant.

Cabinets et urinoirs. — On a trop négligé sur nos chemins de fer l'établissement des lieux d'aisance et des urinoirs. Les chemins de fer anglais offrent sous ce rapport d'excellents modèles. Il importe particulièrement de les bien ventiler et d'y amener une quantité d'eau suffisante.

C'est surtout dans les cours d'arrivée qu'il importe de donner aux urinoirs de grandes dimensions.

Octrol. — Les salles pour la délivrance des bagages et la visite de l'octroi doivent toujours être précédées d'une salle d'attente convenablement disposée.

Bureaux. — Les bureaux de l'administration centrale sont souvent dans des locaux éloignés de ceux qui renferment ceux du service actif. Ces derniers doivent toujours se trouver à proximité de la gare.

Les bureaux doivent toujours être groupés dans un petit espace, de manière que les relations entre les chefs de service soient faciles.

Les plans ou dessins ne pouvant être convenablement exécutés dans des salles mal éclairées, les bureaux de l'ingénieur doivent recevoir le plus de lumière possible.

Il est essentiel aussi que les salles pour les archives soient très-vastes, afin que l'on puisse classer avec un ordre parfait les nombreux documents de toute espèce dont les chefs de l'exploitation d'un chemin de fer doivent faire collection.

Trottoirs. — Les trottoirs doivent être larges et peu élevés (35 centimètres environ). Ils sont en bitume, en dalles, ou planchéiés. On donne souvent la préférence aux trottoirs bitumés.

Sol entre les voies. — Le sol entre les voies doit être consolidé au moyen d'un briquetage, d'un pavé en pierre ou d'un pavé en bois avec ruisseau ou caniveau pour l'écoulement provenant du lavage des voitures. Le ballast donne trop de poussière.

Halle couverte. — La halle couverte doit être éclairée au moyen de châssis à tabatière placés contre le bâtiment plutôt que sur le milieu du faîtage.

GARES OU STATIONS INTERMÉDIAIRES.

Disposition des voies. — Au chemin de Strasbourg et sur plusieurs autres lignes à deux voies on a adopté pour règle générale de placer la pointe des aiguilles dans le sens opposé à la marche des convois, même dans les stations principales. On n'entre ainsi dans les voies de garage qu'à reculons.

Il ne faut pas négliger de placer sur les voies de garage des cales ou heurtoirs mobiles.

Il est nécessaire aussi, pour prévenir les accidents, de placer un heurtoir solide à l'extrémité de la voie, ou au moins un tas de terre d'une hauteur et d'une épaisseur suffisantes pour arrêter les waggons.

Les croisements ou coupements de voie sur les voies principales ne sont dangereux que dans les stations qu'une partie des convois traversent à grande vitesse. Quelquefois cependant on en fait usage même dans ces dernières stations.

Les voies de garage dans les gares intermédiaires doivent être placées sur le côté des voies principales plutôt qu'entre ces voies. Elles doivent avoir de 400 à 450 mètres de longueur (longueur des plus longs convois augmentée de celle de la machine).

Il est nécessaire de poser dans certaines gares des voies spéciales pour l'alimentation des machines.

On évite autant que possible les plaques tournantes sur les voies principales. Quelquefois cependant elles deviennent nécessaires.

Les stations intermédiaires doivent être couvertes par des disques placés à 800 mètres au moins de distance.

Les voies principales étant établies entre les trottoirs, le bâtiment des salles d'attente est ordinairement placé du côté de la ville que la station dessert, et les voyageurs, pour partir du trottoir qui ne longe pas ce bâtiment, ou pour se rendre en ville lorsqu'ils arrivent, sont obligés de traverser les voies. Cette traversée de voies ne devient dangereuse que sur des chemins de banlieue excessivement fréquentés. On a généralement abandonné sur les grandes lignes les dispositions qui avaient pour objet de l'éviter.

Remises de waggons. — Les remises de waggons doivent toujours être placées à côté de la voie sur laquelle on est le plus souvent appelé à ajouter des waggons au convoi, et mises en relation avec cette voie au moyen d'un changement de voies, de manière qu'on puisse ajouter les waggons rapidement.

Halles à marchandises. — Les halles à marchandises doivent être placées plus loin à *une petite distance* et desservies par une cour spéciale autre que celle des voyageurs.

Remises de locomotives. — Le bâtiment de la machine fixe et

les remises de locomotives dans les dépôts forment un nouveau groupe qui doit être tout à fait distinct des précédents.

Urinoirs — Le bâtiment des urinoirs, distinct du bâtiment des voyageurs sur les chemins à deux voies, doit être placé à l'arrière du convoi arrivant. Les urinoirs sont nécessaires des deux côtés de la gare, et doivent être très-vastes, surtout dans les stations où les convois stationnent quelques minutes au moins. L'entrée doit en être masquée.

Trottoirs. — Les trottoirs ne doivent pas avoir plus de 35 centimètres de hauteur, sauf toutefois dans les stations de certains chemins de banlieue, où le service doit se faire, au passage des convois, avec une très-grande rapidité.

Les deux trottoirs, dans les stations de quelque importance, doivent être couverts par des marquises sur toute leur largeur et sur la plus grande longueur possible.

Dans les grandes stations d'embranchement, on couvre souvent les voies aussi bien que les trottoirs.

Buffets. — Dans les gares d'embranchement, on trouve souvent un trottoir au milieu des voies.

Les buffets doivent être placés du côté des villes desservies.

Distribution intérieure du bâtiment des salles d'attente. — Les salles d'attente des trois classes doivent être groupées à une même extrémité du bâtiment, de manière qu'un seul surveillant puisse faire le service des trois salles en même temps.

Le bureau des bagages, dans les stations intermédiaires comme dans les stations terminales, ne doit pas se trouver entre le bureau des billets et les salles d'attente. Il doit être contigu au bureau du chef de gare.

Le bureau des messageries est placé à côté du bureau des bagages, ou bien le service des bagages et celui de la messagerie se font dans un seul et même bureau.

Le bureau du chef de gare doit avoir une porte sur le trottoir et une autre porte par laquelle le public peut communiquer avec lui, sans entrer dans la gare.

Le bureau des billets, celui des bagages et les salles d'attente doivent être desservis par un vestibule de grandeur suffisante.



On doit pouvoir fermer le bureau des bagages. Le public sortant de la gare ne doit pas traverser le vestibule et se mêler ainsi aux voyageurs qui partent. Le mieux est de le faire sortir par un couloir plus ou moins large, ménagé à l'extrémité du bâtiment.

La distribution des bagages peut se faire sur une table dans ce couloir, ou simplement sur le trottoir.

Le logement du chef de gare se trouve au-dessus du bureau des billets ou du bureau des bagages du vestibule, et quelquefois de la salle d'attente de 1re classe. L'escalier par lequel on y accède est mieux placé du côté de la façade sur la cour que du côté de la façade sur le trottoir.

Il est utile de placer une marquise en avant de la porte du vestibule, pour abriter les voyageurs qui descendent de voiture, et une autre marquise à l'extrémité du couloir de sortie.

Le bâtiment des salles d'attente des stations intermédiaires hors ligne couvre une surface indéfinie.

Les trottoirs ne doivent pas avoir moins de 80 mètres de longueur, et, quelquefois, sur des chemins de banlieue, ils doivent avoir jusqu'à 220 mètres.

HALLES A MARCHANDISES ET REMISES.

Halles à marchandises. — Les halles à marchandises sont de grands hangars rectangulaires, quelquefois avec entre-sols, et même avec premier et second étage. Dans ce dernier cas, on élève les marchandises au moyen de machines, mais l'emploi des machines, comme celles d'Armstrong, par exemple, n'est avantageux qu'autant que le mouvement dans la gare est considérable.

Trottoirs des halles. — Le long du trottoir sur lequel se fait la manutention des colis se trouve, d'un côté, une voie en fer, et, de l'autre, une chaussée. On noie quelquefois une voie dans la chaussée, et on la relie à celle qui est posée de l'autre côté du trottoir par des voies transversales qui traversent le trottoir au moyen de coupures.

Les trottoirs ont $1^{m},10$ de hauteur. Ils ne doivent pas être bitumés : le bitume, se ramollissant l'été, devient nuisible pour certaines

marchandises. On les pave quelquefois en pierre, mais le pavage en bois est préférable.

Clôture des halles. — Dans les grandes gares, les hangars sont entièrement ouverts, et les côtés sont, pendant la nuit, gardés par des surveillants. Dans les gares plus petites, on se réserve le moyen d'enfermer les colis.

Quelquefois la voie latérale au trottoir et la chaussée ne sont couvertes que par des auvents, et l'on n'enferme la nuit que la marchandise déposée sur le trottoir. D'autres fois, la voie, le trottoir et la chaussée se trouvent sous un hangar entièrement fermé. Enfin, on a construit, dans ces dernières années, un grand nombre de halles à marchandises, avec clôture pour la voie et le trottoir, et simplement auvent découvert pour la chaussée. De cette manière, les waggons chargés, stationnant sur la voie, sont à l'abri des voleurs. Ce dernier système nous paraît préférable aux deux autres. L'avant-dernier est le plus économique, et souvent peut suffire.

Halles perpendiculaires, inclinées ou parallèles. — L'axe des halles est perpendiculaire à celui des voies principales, parallèle ou incliné.

Les hangars étant perpendiculaires aux voies principales, tous les waggons composant un convoi doivent passer sur des plaques tournantes pour y pénétrer. Les convois tout entiers, au contraire, peuvent pénétrer, sans être décomposés, sous les hangars parallèles ou divergents.

Les hangars parallèles ou divergents sont donc préférables aux hangars perpendiculaires. Ils se prêtent mieux aux exigences du service et n'exigent pas un aussi grand nombre de plaques.

Dans les stations intermédiaires les hangars sont toujours parallèles.

Surface des quais. — Sept mètres cubes en moyenne par tonne de marchandises.

Ateliers. — Les grands ateliers sont généralement composés de bâtiments rectangulaires placés autour d'une ou plusieurs cours. Les forges, la chaudronnerie, sont placées sous de simples hangars. Les machines, les outils et la carrosserie se trouvent souvent logés dans des bâtiments à un étage.

Les ateliers doivent être disposés de manière à éviter les fausses manœuvres. Ils doivent être de dimensions telles, que le service n'en soit jamais gêné. La surveillance et la police doivent s'y faire aisément ; il faut enfin qu'ils soient bien éclairés, bien aérés et suffisamment chauffés en hiver. L'aérage et le chauffage sont nécessaires surtout pour les ateliers où l'on peint les waggons.

Remises de waggons. — Les remises de waggons consistent généralement en de grands hangars rectangulaires. Les voies de remisage parallèles placées sous ce hangar sont desservies par un chariot, qui peut aussi transporter les waggons sur une voie de service communiquant par un changement de voie avec l'une des voies principales.

Elles doivent être convenablement éclairées, afin qu'on y puisse visiter les waggons et y faire de petites réparations. On doit, dans le même but, ménager un espace suffisant entre les voies.

Remises de locomotives. — On distingue trois espèces de remises de locomotives.

Les remises :

1° rectangulaire ;

2° polygonale (rotondes ou demi-rotondes);

3° en fer à cheval.

Les remises rectangulaires sont ordinairement préférées pour un petit nombre de locomotives. On peut toutefois, dans ce cas, employer aussi un fer à cheval formant une petite portion de secteur seulement.

Pour un grand nombre de locomotives (douze au moins), les rotondes sont préférables. Elles sont plus économiques et permettent de dégager facilement les machines. Les demi-rotondes, plus coûteuses que les rotondes, ne servent que dans quelques cas exceptionnels.

Les remises en fer à cheval, si l'on tient compte de la dépense faite pour les voies et pour l'achat du terrain, sont presque aussi coûteuses que les rotondes. Elles se prêtent mal à la surveillance, ainsi qu'au chauffage, et la plaque tournante y est découverte. Elles sont cependant employées sur plusieurs lignes importantes.

Les remises de locomotives doivent être bien éclairées. La fumée

et la vapeur qui se produisent lorsqu'on allume une locomotive doivent pouvoir se dégager facilement et sans danger pour la charpente; la circulation autour des machines doit y être facile et la chaleur suffisante pour empêcher la congélation de l'eau.

Réservoirs. — Il est utile de pouvoir chauffer l'eau des réservoirs, car, de tous les moyens employés pour chauffer l'eau des locomotives, le plus coûteux est, sans contredit, le chauffage direct par le foyer des machines. Toutefois les réservoirs de très-grandes dimensions ne sont pas chauffés. La gelée d'une masse d'eau aussi grande que celle que contiennent ces réservoirs n'est pas à craindre.

Les réservoirs ronds ou polygonaux sont préférables aux réservoirs rectangulaires. Les réservoirs sont en tôle ou en fonte.

Magasins de coke. — Il serait utile de couvrir les dépôts de coke. On ne le fait cependant que très-rarement, parce que cela deviendrait trop coûteux pour de grands approvisionnements.

ARCHITECTURE DES GARES.

La façade d'une grande gare est caractérisée par une horloge monumentale et par un grand nombre de portes ou arcades en plein cintre de grandes dimensions, destinées à éclairer de grands vestibules ou à donner issue au flot des voyageurs qu'amène chaque convoi. Si le bâtiment est placé en tête, le comble qui recouvre la halle est ordinairement accusé par un fronton ou par un grand arc.

L'architecture des gares ou stations intermédiaires doit être en harmonie avec celle des édifices du voisinage. Le chalet obtient souvent la préférence pour les bâtiments de station placés dans de belles vallées.

WAGGONS.

Disposition générale. — Les voitures employées sur les chemins de fer sont toutes portées sur quatre roues au moins.

Les roues jumelles fixées sur les essieux, qui tournent alors dans des boites fixées à la caisse du waggon ou aux ressorts qui les portent, sont solidaires.



Les essieux sont disposés de manière à rester invariablement parallèles, ou à peu près, dans les waggons à quatre roues. — Dans les waggons à huit roues ils sont parallèles deux à deux.

Ressorts. — L'usage des ressorts de choc et de traction devient général, même pour les waggons à marchandises.

On a fait pendant longtemps les ressorts de waggons en acier corroyé. M. Lasalle a introduit dans leur fabrication l'acier fondu, que son élasticité, son homogénéité et sa résistance à la rupture rendent bien supérieur.

Graissage. — Le graissage à l'huile tend à se substituer aujourd'hui au graissage à la graisse, fort imparfait en hiver surtout. La plus grande difficulté que l'on ait à surmonter dans le graissage à l'huile consiste à éviter les pertes d'huile.

Anciennement les boîtes à graisse étaient ajustées avec soin dans les plaques de garde; actuellement on leur donne au contraire du jeu dans tous les sens. Cette disposition facilite le passage dans les courbes.

L'emploi des galets ou des rouleaux, pour diminuer le frottement sur la fusée, ne s'est pas généralisé.

Roues. — En France, les roues de waggons, soit à voyageurs, soit à marchandises, marchant à de grandes vitesses, sont ordinairement en fer, à l'exception du moyeu. On en fait même en grand nombre aujourd'hui avec le moyeu en fer. En Amérique, on se sert encore, même pour les waggons marchant à de grandes vitesses, de roues en fonte.

En Angleterre, on fait encore usage pour les waggons à marchandises, sur quelques chemins, de roues avec rais en fer, en fonte et cercle en fer. La différence de prix en faveur des roues avec rais en fonte en France nous paraît trop faible pour justifier leur emploi, même pour les waggons à marchandises.

Dans les waggons de terrassement, le cercle est en fonte, les rais en fer et le moyeu en fonte.

On fait souvent usage de roues pleines, surtout pour les waggons qui entrent dans la composition des trains express.

Caisses des waggons de terrassement. — Les caisses de waggons de terrassement mobiles autour d'un axe doivent avoir une capacité

plus ou moins grande, selon la distance à laquelle les waggons doivent transporter les terres. Elles ne doivent pas être trop élevées, afin que le chargement n'en devienne pas trop difficile. Elles doivent se renverser sous un angle de 45 degrés au moins. Leur charge doit être distribuée inégalement sur l'axe de rotation, de manière que la charge sur l'arrière soit un peu plus forte que sur l'avant. Les roues doivent être chargées à peu près également. Elles doivent avoir le plus grand diamètre possible, afin de passer facilement sur les petites pierres que l'on peut rencontrer sur les rails des chantiers de terrassements; mais on ne peut dépasser le diamètre de $0^{m},75$, sous peine de trop élever le centre de gravité de la caisse.

Waggons à houille. — On renonce sur plusieurs lignes aux waggons à trappes pour le transport de la houille même, parce qu'ils ne peuvent servir que difficilement au transport d'autres matières en retour.

Waggons à voyageurs. — Les waggons pour le transport des voyageurs doivent être disposés de façon que l'on puisse y faire entrer ou en faire sortir rapidement le plus grand nombre possible de voyageurs aux stations. Pour cela, il faut que les portes soient nombreuses et de largeur suffisante.

Aujourd'hui, en France, l'autorité supérieure exige que les waggons de toute classe soient couverts et fermés.

Rapport du poids mort. — On s'applique à diminuer autant que possible le rapport du poids mort au poids utile dans les waggons, soit à voyageurs, soit à marchandises.

On a augmenté dans ce but la longueur des caisses des waggons à voyageurs et augmenté la capacité de celles des waggons à marchandises. Les waggons à marchandises à quatre roues ne portaient anciennement que 5 tonnes. On est parvenu aujourd'hui à leur faire porter 10 tonnes sans en augmenter beaucoup le poids mort.

Waggons à bagages. — Les portières des waggons à bagages, étant toujours de grandes dimensions, ne doivent pas tourner sur des charnières comme celles des waggons à voyageurs. Elles doivent, pour ne pas occasionner des accidents, glisser sur des roulettes.

Il importe, sur un chemin de fer, de réduire autant que possible le nombre des différents modèles de waggons.

Matériel américain. — Le matériel américain à huit roues est, proportion gardée, plus lourd que celui à quatre roues; il ne se prête pas aux exigences de l'exploitation aussi facilement que ce dernier, et ne peut marcher dans de bonnes conditions à d'aussi grandes vitesses. Le matériel à quatre roues obtient aujourd'hui la préférence sur le matériel américain, et même sur le matériel anglais à six roues.

Attelage. — L'attelage doit se faire au moyen de tendeurs à vis, en ayant soin d'établir le contact entre les tampons. L'attelage rigide et celui au moyen de chaînes doivent être rejetés.

Freins. — Bien des personnes étrangères aux notions les plus élémentaires de la mécanique se figurent que le meilleur frein serait celui qui pourrait arrêter au besoin le convoi instantanément. C'est une grave erreur qu'il importe de détruire. Les freins ne doivent agir que graduellement, avec plus ou moins d'intensité, selon la force dont le convoi est animé.

Il était d'une grande importance que le mécanicien pût manœuvrer les freins au moment même où il aperçoit un obstacle sur la route. C'est dans cette pensée qu'ont été étudiés plusieurs freins nouveaux, notamment le frein Guérin, employé sur plusieurs lignes.

On emploie sur les fortes pentes un frein à patins d'une espèce particulière, connu sous le nom de frein Laignel.

Matériel articulé. — Le matériel articulé de M. Arnoux n'a été employé jusqu'à ce jour que sur le chemin de fer de Sceaux.

Le principal obstacle à ce qu'il fût employé sur des lignes de grand parcours provenait de la difficulté que l'on éprouvait à construire des machines *puissantes* à roues couplées pouvant passer aussi bien que les waggons dans les courbes de petit rayon.

On a surmonté jusqu'à un certain point cet obstacle en construisant des machines à quatre paires de roues couplées, marchant dans les courbes du plus petit rayon; mais ces machines ne sont pas encore assez puissantes pour traîner seules des convois de marchandises composés d'un grand nombre de waggons.

On a aussi reproché au système Arnoux sa complication. On

l'a beaucoup simplifié, et tout récemment on est parvenu à marcher sur les courbes de petits rayons du chemin de Sceaux en se bornant à rendre folle l'une des deux roues portées sur un même essieu, sans altérer le parallélisme des essieux et sans faire usage de galets directeurs.

MACHINES FIXES ET GRAVITÉ.

Les machines fixes comme moteurs sur les grandes lignes de chemins de fer sont généralement abandonnées.

Le système atmosphérique n'est plus employé que sur le chemin de Saint-Germain, où il fera place bientôt à un service exclusif de locomotives.

Les machines fixes se prêtent difficilement aux exigences du service. Leur emploi sur les grandes lignes, si ce n'est dans quelques cas très-exceptionnels, ne procure pas les économies qu'on en espérait, soit pour la construction, soit pour l'exploitation.

Les plans automoteurs sont employés avantageusement dans le voisinage des mines ou des usines. Leur pente doit être de deux centièmes au moins, et leur longueur ne doit pas dépasser 2,000 mètres.

La double voie avec entre-voie n'est indispensable qu'au milieu du plan.

MACHINES LOCOMOTIVES.

HISTOIRE.

Premières locomotives. — Les premières machines locomotives ont été essayées sur une route ordinaire par un Français nommé Cugnot, en 1765.

Les premières machines qui aient paru sur un chemin de fer sont celles de Trevitick et Vivian, essayées en 1804 aux environs de Newcastle.

On croyait nécessaire, lors de la construction des premières locomotives, d'employer des engrenages ou des jambes mobiles pour opérer le mouvement de translation. C'est en 1814 seulement

que Georges Stephenson construisit la première locomotive marchant en vertu de l'adhérence.

La première machine à chaudière tubulaire avec tirage par le jet de vapeur, capable de marcher à de grandes vitesses, n'a paru qu'en 1829. — La chaudière tubulaire a été inventée par Séguin l'aîné.

Depuis cette époque, rien n'a été changé au principe de la construction des machines locomotives, mais on en a considérablement augmenté la puissance et diminué les frais.

Force croissante des locomotives. — Les premières machines locomotives ne pouvaient traîner que 40 tonnes brutes à la vitesse de 25 kilomètres par heure. Les machines Engerth traînent aujourd'hui jusqu'à 700 tonnes à la même vitesse, et ne brûlent que la treizième partie de ce que brûlaient les anciennes machines pour remorquer une tonne à 1 kilomètre. (*Voir* p. 356.)

Avec une charge de 80 tonnes seulement, les machines peuvent atteindre la vitesse de 100 kilomètres.

Avantages précieux des locomotives. — Les machines locomotives ont l'avantage :

1° De présenter une très-grande surface de chauffe sous un très-petit volume;

2° De produire une grande quantité de vapeur par unité de surface;

3° D'être inexplosibles ou à peu près.

Différents types. — On distingue :

Les machines à voyageurs,
— à marchandises,
— de gare.

Machines à voyageurs. — Les machines à voyageurs se divisent en machines :

1° A moyenne vitesse, à roues indépendantes ou à deux paires de roues couplées (machines mixtes);

2° A grande vitesse.

L'ancien type Stephenson pour voyageurs à roues indépendantes, longue chaudière, châssis intérieur, etc., est aujourd'hui abandonné. En France, on lui préfère le type à chaudière de moyenne longueur, double châssis, cylindres extérieurs.

En Angleterre, on fait souvent usage des cylindres intérieurs.

Le châssis extérieur, en cas de rupture d'un essieu, n'est pas, ainsi qu'on l'a prétendu, plus dangereux que le châssis intérieur.

Les locomotives à quatre roues dans le même cas offrent autant de sécurité que celles à six roues. Elles sont toutefois abandonnées sur toutes les grandes lignes, à cause de leur défaut de puissance.

En Amérique, et quelquefois en Allemagne, on fait usage, pour des vitesses modérées, de machines à huit roues avec essieux parallèles deux à deux.

Les locomotives Crampton font un excellent service à grande vitesse; toutefois un certain nombre d'ingénieurs préfèrent pour les trains express les machines à roues indépendantes placées sur l'essieu du milieu, du même système que celles pour moyenne vitesse.

Machines à marchandises. — Les machines à marchandises se divisent en machines :

1° A moyenne charge ;

2° A très-fortes charges (Engerth);

3° Machines de rampe.

Les machines à marchandises traînant de moyennes charges sont ordinairement établies suivant les anciens types de Stephenson, avec les trois essieux entre les deux boîtes. On conserve souvent pour ces machines les cylindres intérieurs.

En Amérique, on emploie pour le service des marchandises comme pour celui des voyageurs des machines à huit roues ou des machines à dix roues, les deux essieux de devant étant indépendants de ceux d'arrière, qui sont couplés. — L'adhérence de ces machines ne peut dépasser 36 tonnes.

Les machines traînant de très-fortes charges sont dans le système Engerth. On renonce à l'engrenage. Il paraît même qu'on pourrait supprimer la réunion du tender à la machine.

La machine Engerth peut aussi être classée parmi les machines de rampe avec la machine du Nord et la machine Beugnot.

La surface de chauffe est, dans les machines à roues indépen-

dantes, pour le service à vitesse modérée, d'environ 80 mètres;

Les machines mixtes.	85	mètres carrés.
Machines Crampton.	100	—
Machines à marchandises ordinaires.	120 à 130	—
Machines Engerth.	200	—
Fortes rampes du Nord.	120	—
Fortes rampes Beugnot.	180	—

Répartition du poids sur les essieux. — La répartition du poids sur les essieux s'opère de la manière suivante.

Dans les machines Stephenson à voyageurs :

Charge sur l'essieu d'arrière. . . .	$\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{7}$	du poids total.
— du milieu.	$\frac{1}{2}$ à $\frac{2}{3}$	—
— d'avant.	$\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{3}$	—

Dans les machines Crampton :

Charge sur l'essieu d'arrière. . .	environ $\frac{5}{12}$	—
— l'essieu d'avant. . . .	— $\frac{2}{12}$	—
— l'essieu du milieu. . .	— $\frac{5}{12}$	—

Dans les machines à marchandises ordinaires et Engerth et dans les machines pour fortes rampes la charge doit être la même sur tous les essieux.

Mais elle ne doit jamais dépasser 12 tonnes sur un essieu.

L'écartement des essieux extrêmes est, dans les Crampton, de 4^{m},89; dans les machines à moyenne vitesse, de 3^{m},01 à 4^{m},70.

Foyer. — Le foyer des locomotives en Europe est généralement rectangulaire, en Amérique cylindrique. Le foyer rectangulaire, offrant une plus grande surface de chauffe pour une certaine surface de grille, est préférable.

La boîte à feu, dans un grand nombre de machines anglaises, est divisée en deux parties par un bouilleur; mais le bouilleur ne convient qu'autant que l'on brûle des combustibles de première qualité.

La boîte intérieure doit être en cuivre rouge. La boîte extérieure est en tôle.

Grille. — La grille doit être composée de barreaux en fer laminé, indépendants. Toutes les machines doivent être munies d'un cendrier. En France, l'administration supérieure recommande le cendrier sans fond. En Angleterre, le cendrier est fermé dans le fond,

et le tirage est réglé par une porte placée en avant, porte que l'on peut ouvrir plus ou moins.

Tubes. — Les tubes sont en laiton, en fer ou en cuivre rouge. Le cuivre rouge se détruit rapidement lorsqu'on brûle du coke. Les tubes en laiton sont préférés sur la plupart des lignes européennes.

Tuyau de vapeur. — Le tuyau par lequel la vapeur se rend de la chaudière dans les boites est en cuivre.

Régulateur. — Le régulateur à tiroirs est celui que l'on préfère.

Piston. — Le piston suédois est le meilleur de tous.

Échappement. — L'échappement variable à valves est également le meilleur. En Angleterre, l'orifice d'échappement est de grandeur constante.

Roues. — On fait aujourd'hui généralement les roues tout en fer.

Coulisse. — La coulisse est aujourd'hui d'un emploi presque général. La coulisse mobile présente deux inconvénients graves. Elle ne peut augmenter la détente qu'en augmentant l'avance linéaire et rétrécissant les lumières. On évite le premier avec la coulisse fixe, très-répandue aujourd'hui.

Avance, recouvrement. — L'avance linéaire doit être égale au moins au recouvrement. Elle est généralement un peu plus grande.

Pression, détente, compression. — Dans les machines à coulisse, la durée de la détente et celle de la compression et de l'échappement anticipé sont proportionnelles au recouvrement extérieur. Le recouvrement intérieur diminue l'échappement anticipé et augmente la détente et la compression.

Compression. — La compression donne lieu à un travail résistant qui diminue la puissance de la machine; mais elle diminue la dépense de vapeur, et, par conséquent, de combustible, en remplissant l'espace nuisible de vapeur. Poussée au delà de certaines limites, elle cesse de réduire la consommation de vapeur.

DÉTERMINATION DES RÉSISTANCES A VAINCRE SUR LES CHEMINS DE FER.

Résistances en plaine et en ligne droite. — Les résistances normales que le moteur doit vaincre pour maintenir un waggon mar-

chant sur un chemin de fer en ligne droite à l'état de mouvement sont de trois espèces, savoir :

1° Le frottement des fusées qui tournent dans les boîtes à graisse ou à huile.

2° Le frottement des roues sur le rail.

3° La résistance de l'air.

Frottements. — On admet généralement que le frottement est proportionnel à la pression, qu'il varie avec la nature et l'état des surfaces en contact, mais qu'il est indépendant de l'étendue de ces surfaces et de la vitesse.

Des expériences récentes paraissent infirmer cette loi; il semblerait résulter de ces expériences que la vitesse et la surface en contact ne sont pas sans influence sur le frottement.

Résistance de l'air. — La résistance de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse.

Elle est d'autant plus faible que le mobile est plus allongé dans le sens du mouvement.

Si deux surfaces se masquent exactement, la résistance éprouvée par la surface masquée est égale à une fraction de la résistance supportée par la surface antérieure. — Plus l'espace qui sépare les deux surfaces est faible, plus aussi la résistance exercée sur la surface masquée sera diminuée.

Résistance sur une rampe. — Sur une rampe la puissance provenant de la composante du poids parallèle au plan incliné s'ajoute aux résistances occasionnées par le frottement et par l'air.

Résistance dans les courbes. — Dans les courbes trois nouvelles causes de résistance s'ajoutent aux précédentes.

1° Le glissement des roues provenant de leur fixité sur l'essieu, glissement qui tend à s'opérer dans la direction de la tangente.

2° Le glissement des roues provenant du parallélisme des essieux, glissement qui tend à s'opérer suivant la direction du rayon de la courbe.

3° La force centrifuge qui produit un frottement d'une partie du bourrelet des roues contre la file de rails extérieure.

Équation du travail. — L'équation du travail dans le cas le plus général d'un chemin, sur une rampe et en ligne courbe, s'é-

tablit en faisant la somme des travaux provenant des résistances précitées.

Détermination des coefficients. — Pour déterminer les coefficients on s'est servi du dynamomètre, ou l'on a fait descendre des waggons sur des plans inclinés.

Frottement sur les fusées. — Le travail du frottement sur les fusées est proportionnel au diamètre de ces fusées et inversement proportionnel au diamètre des roues.

Il est moins grand avec le graissage à l'huile qu'avec celui à la graisse, surtout au moment du départ et en hiver.

Ce travail est de deux à trois millièmes du poids qui pèse sur la fusée.

Frottement au pourtour des roues. — Le travail du frottement au pourtour des roues est d'environ le tiers du frottement sur les fusées.

Il diminue en sens inverse du diamètre des roues, mais l'influence du diamètre dans les limites de grandeur des roues de waggons est considérée comme insensible.

Ce frottement dépend aussi de l'état des rails. Nous avons supposé un état moyen de propreté. Il diminue lorsque les rails sont humides.

Résistance de l'air. — La résistance de l'air à de grandes vitesses augmente notablement la résistance totale.

Ainsi la résistance totale, étant par approximation, à des vitesses de 25 à 40 kilomètres par heure, de 3 à 4 1/2 millièmes du poids total, devient de 4 1/2 à 8 1/2 millièmes à des vitesses de 40 à 60 kilomètres par heure, et de 12 à 15 millièmes, à des vitesses de 80 à 90 kilometres.

Résistance sur les rampes — Sur les rampes la composante du poids a une grande influence sur la résistance totale. Sur une rampe de 5 millièmes elle dépasse déjà celle du frottement.

Résistance dans les courbes. — Dans les courbes le frottement occasionné par la fixité des roues sur les essieux augmente avec la largeur de la voie; et celui occasionné par le parallélisme des essieux, avec la distance des essieux extrêmes.

Le frottement occasionné par la force centrifuge augmente

comme le carré de la vitesse, et en raison inverse du rayon de courbure.

On n'a pas encore déterminé exactement la résistance dans des courbes de rayon donné à des vitesses données.

Discussion de la formule. — De la discussion de l'équation du travail il résulte :

1° Que l'on diminue la résistance en diminuant le diamètre des fusées et en augmentant le diamètre des roues.

C'est pour diminuer le diamètre des fusées que l'on place ordinairement dans les waggons les fusées à l'extérieur des roues.

L'augmentation du diamètre des roues est limitée par la nécessité de ne pas rendre le chargement et le déchargement des waggons trop difficiles, de ne pas en augmenter le poids mort outre mesure, et de ne pas en diminuer la stabilité en augmentant la tendance au renversement latéral.

2° Qu'on réduit considérablement la résistance totale en diminuant la vitesse.

3° Que le passage dans les courbes donne lieu à une augmentation de résistance d'autant plus grande *par unité de distance parcourue* que le rayon est plus petit.

4° Que, dans tout changement de direction du tracé, le travail résistant *total* propre au parcours de la partie courbe qui raccorde les deux alignements droits est indépendant du rayon de courbure; mais que la grandeur de celui-ci n'est pas pour cela tout à fait indifférente dans l'appréciation de la dépense finale de traction, puisque toute réduction du rayon ou du développement de la courbe correspond à un allongement du parcours total ou à un petit surcroît de travail sur l'alignement droit.

Qu'ainsi, en augmentant le rayon des courbes à grands frais, on a bien moins pour objet de diminuer le travail sur les alignements que de réduire le travail résistant par unité de distance parcourue en courbe, de façon qu'il ne dépasse pas certaines limites dans les circonstances les plus défavorables, limites au-dessus desquelles les machines éprouveraient une fatigue et une usure excessives.

Surélévation du rail extérieur dans les courbes. — On diminue la résistance occasionnée par la force centrifuge en surélevant

dans les courbes le rail extérieur. Il ne faut pas craindre, dans le double intérêt de la facilité et de la sécurité de la circulation, de baser l'inclinaison transversale de la voie sur la plus grande des vitesses avec lesquelles les trains de voyageurs pourront avoir à parcourir chaque courbe.

Résistances accidentelles. — Les résistances accidentelles proviennent :

1° De l'état d'entretien de la voie et du matériel roulant;

2° De l'imperfection naturelle de ces deux éléments du chemin de fer;

3° De l'action du vent.

On a mesuré l'influence du vent et on a trouvé :

Que, si le vent souffle en sens contraire de la marche du convoi, son influence comme cause de résistance n'est pas très-grande.

Mais que, lorsqu'il souffle latéralement au convoi, il peut, dans certains cas, doubler la résistance.

Résistances sur chemins de fer et autres voies. — Comparant les résistances totales sur les chemins de fer de niveau et en ligne droite à celles des routes et des canaux, on trouve :

Qu'à des vitesses modérées la résistance sur une bonne route est de huit à dix fois aussi grande que sur un chemin de fer;

Qu'à de très-faibles vitesses elle est sur les canaux le quart ou le cinquième de ce qu'elle est sur un chemin de fer; mais que, la vitesse croissant, elle dépasse bientôt la résistance sur les chemins de fer.

THÉORIE DES LOCOMOTIVES.

Problème à résoudre. — *Quelle est la charge que peut traîner à une vitesse donnée une machine locomotive de dimensions données?*

Tel est le problème à résoudre, et, pour le résoudre, il faut établir une équation entre le travail moteur et le travail résistant, équation établissant une relation entre la charge, la vitesse et les dimensions de la machine. La même équation sert à déterminer la vitesse, la charge et les dimensions de la machine étant don-

nées, ou l'une des dimensions de la machine, la charge, la vitesse et les autres dimensions étant données.

Adhérence. — La charge traînée dépend :

1° De la puissance de la machine;

2° De l'adhérence des roues motrices.

L'adhérence varie suivant l'état des rails. On admet qu'elle est en moyenne de 1/6 du poids qui l'a produite, ou, en d'autres termes, que, eu égard à l'adhérence, on peut utiliser un effort de traction égal à 1/6 du poids porté par les roues motrices ou par les roues couplées avec les roues motrices.

Puissance. — Quant à la puissance de la machine, on ne peut l'apprécier qu'en se rendant compte du travail moteur et du travail résistant.

Le travail moteur se divise en trois périodes : travail 1° pendant l'admission; 2° pendant la détente; 3° pendant l'échappement anticipé. Le travail résistant se divise en travail 1° pendant l'échappement; 2° pendant la compression; 3° pendant la marche à contre vapeur.

Le travail pendant l'admission et pendant l'échappement dépend de circonstances variées qui n'ont pu jusqu'à présent être soumises au calcul; il devient donc impossible d'établir une équation entre le travail moteur et le travail résistant. — On se contente de formules empiriques.

On se base, pour établir ces formules empiriques, sur le raisonnement et sur les résultats d'expériences.

Résultats d'expériences. — Voici quelques données sur le travail de la vapeur dans les machines et sur les résultats d'expériences.

Perte de pression. — La perte de pression dans le passage de la chaudière aux cylindres varie : 1° avec l'ouverture du régulateur; 2° avec les dimensions et les sinuosités des conduits; 3° avec l'orifice maximum des lumières; 4° avec la vitesse du piston; 5° avec la quantité d'eau entraînée par la vapeur dans les conduites ou provenant de la condensation.

Dans les machines munies de la coulisse Stephenson, elle croît rapidement à mesure que l'on détend davantage. Cela tient à ce

que, pour les fortes détentes, le tiroir ne découvre plus les lumières que de quelques millimètres.

Les machines à coulisses ne marchent dans des conditions avantageuses qu'autant que la pression dans la chaudière est très-élevée et les dimensions des cylindres considérables.

Détente. — Lorsqu'on détend au quart de la course, le travail de la détente est égal à celui de l'admission.

Elle est considérablement augmentée par le mélange de l'eau entraînée avec la vapeur. Elle peut être triplée.

La quantité de vapeur produite par la chaudière est généralement insuffisante pour qu'on puisse marcher à pleine vapeur dans les meilleures conditions. La marche la plus avantageuse pour le développement de la puissance est celle qui correspond à une admission de 66 à 75 p. 100 de la course, suivant les machines.

Échappement anticipé. — La perte de force expansive par l'échappement anticipé est très-peu sensible. Elle est presque nulle et plus que compensée par la diminution de contre-pression.

Eau entraînée ou condensée. — La quantité d'eau entraînée ou condensée augmente avec la détente.

Pression soufflante. — La pression soufflante varie comme le vide dans la boîte à fumée, quelle que soit la détente.

Vide dans les deux boîtes. — Le vide dans la boîte à fumée croît de manière très-différente avec la puissance soufflante dans les différentes machines. Le vide croît avec la pression soufflante même aux plus grandes vitesses.

Le rapport du vide dans la boîte à feu au vide dans la boîte à fumée varie de un tiers à un quart.

Consommation de coke. — On marche économiquement toutes les fois que le poids d'eau évaporée par kilogramme de coke atteint 9 kilogrammes.

Surfaces de chauffe et de grille. — Le rapport entre la surface de chauffe et la surface de grille dans les machines récemment construites varie de 72 : 1 machines à voyageurs, et 100 : 1 machines à marchandises.

Surfaces de chauffe du foyer et des tubes. — Le rapport entre

ces surfaces est de $\frac{1}{12}$ à $\frac{1}{13}$ dans les machines à voyageurs; de $\frac{1}{14}$ à $\frac{1}{15}$ dans les machines à marchandises.

Surface de chauffe et volume de vapeur par coup de piston. — La partie variable du rapport $\frac{S+S'}{d^2 l}$ (*voir* p. 748) doit se rapprocher de l'unité ou lui être égale.

Section des tuyaux. — Le rapport entre la section du tuyau qui conduit la vapeur aux boîtes et celle du piston doit être de 1 à 10; le rapport entre la section des lumières et l'aire du piston également de 1 à 10. La section du tuyau d'échappement doit, pour chaque cylindre, être égale à celle du tuyau de prise de vapeur.

NOUVEAUX SYSTÈMES.

Machines électriques. — L'électricité, dans l'état actuel de la science, ne peut être appliquée avec avantage aux machines locomotives ni comme moteur ni comme moyen d'augmenter l'adhérence.

Machines rotatives. — Les machines rotatives ne peuvent être appliquées avec avantage à la locomotion.

Système Laignel. — Le système Laignel ne présente des avantages que pour des petites lignes, sur lesquelles on marche à de petites vitesses.

La plus grave objection au système Laignel est que, s'il diminue incontestablement le travail nécessaire pour opérer un certain changement de direction, il laisse encore subsister une résistance qui devient excessive par unité de distance parcourue dans des courbes dont le rayon ne dépasse pas 50 mètres.

Machines à air comprimé. — La vapeur est, dans tous les cas, sur les chemins de fer, préférable à l'air comprimé ou à l'air chaud comme moteur.

La plus grave objection faite à l'emploi de l'air comprimé est de ne permettre d'emmagasiner dans le tender que l'approvisionnement d'une quantité de force motrice très-inférieure à celle qu'on emmagasine en se servant de vapeur.

Systèmes divers pour augmenter l'adhérence. — On a tenté, sans grande utilité, différents moyens d'augmenter l'adhérence des

roues de locomotives. L'adhérence sur les pentes les plus fortes en usage sur les chemins de fer est, à l'exception de quelques cas particuliers, en rapport avec la puissance. Si les machines locomotives ne sont pas employées sur des pentes plus fortes, cela tient moins à leur défaut d'adhérence qu'à leur défaut de puissance pour traîner une charge suffisante.

Appareils fumivores. — On n'est pas encore parvenu à brûler économiquement les houilles *de toute nature sans fumée* dans les foyers de locomotives.

APPENDICE

COMPARAISON DES VOIES DE COMMUNICATION.

La question de l'antagonisme des canaux et des chemins de fer a fait, depuis la publication du premier volume de cette seconde édition, un nouveau pas.

La lutte est aujourd'hui plus ardente que jamais, et il est bien reconnu qu'en France du moins, sur la plupart des lignes, les canaux ne peuvent soutenir la concurrence des chemins de fer pour le transport des marchandises *pondéreuses* qu'à la condition de la suppression complète ou presque complète du péage. Le capital engagé dans les voies navigables artificielles se trouve donc ainsi entièrement ou presque entièrement sacrifié.

La question du canal de la Sarre, que nous avons traitée page 9 du premier volume, a été de nouveau agitée. Le gouvernement a soumis au Corps législatif un projet ayant pour objet de construire ce canal aux frais de l'État. Nous empruntons le passage suivant au rapport fait sur ce projet, rapport qui, tout en cherchant à établir la nécessité de la construction du canal pour satisfaire aux vœux des populations et pour donner de la vie au canal de la Marne au Rhin, n'en fait pas moins ressortir les avantages des chemins de fer sur les canaux : « Depuis quinze années le pays et les organes légaux ont marqué leur préférence pour les chemins de fer comparés aux voies fluviales artificielles, et l'on ne peut s'empêcher de reconnaître que, si ces dernières offrent à l'industrie des avantages considérables

par la modicité de leur prix de transport, les lignes ferrées ont dû paraître aux populations éminemment supérieures, en ce qu'elles transportent les hommes en même temps que les choses; que leurs nombreuses stations et les embranchements qui viennent s'y souder de toutes parts prennent et déversent leurs chargements sur tous les points de leur parcours, multipliant ainsi les rapports et les échanges entre des contrées éloignées; qu'enfin leur service, d'une régularité mathématique, n'est point, comme celui des canaux, sujet à des retards, à des intermittences fréquentes, et exposé, dans les régions où les hivers rigoureux convertissent l'eau du canal en une glace compacte, à des interruptions et à des chômages prolongés. »

La Compagnie de l'Est, dans cet état de choses, a déposé une proposition d'effectuer sur un chemin de fer, qui remplacerait le canal, le transport *à meilleur marché* qu'il ne s'opérerait sur le canal, à la condition, bien entendu, que le gouvernement exécuterait le chemin à ses frais, comme il eût exécuté le canal. Cette proposition paraît devoir être accueillie favorablement.

Les chemins de fer paraissent donc devoir accaparer définitivement le transport de la totalité des marchandises pondéreuses, ou au moins d'une grande partie. Mais ce qu'il y a de remarquable, c'est qu'ils semblent avoir perdu dans quelques cas leur supériorité longtemps incontestée pour celui des objets d'une certaine valeur.

Les bateaux à vapeur dits *bateaux porteurs*, dont nous avons parlé dans le premier volume, continuent à faire au chemin de fer du Nord une certaine concurrence pour le transport de ces objets. Disons toutefois que cette concurrence ne paraît pas être très-redoutable.

CHEMINS DE FER LIVRÉS A L'EXPLOITATION

DEPUIS LA PUBLICATION DU PREMIER VOLUME.

Dans le premier volume (seconde édition) du *Traité élémentaire* nous avons donné pour la longueur des chemins de fer construits en France, au 1er janvier 1857, 6,186 kilomètres. Toutes ces lignes

sont indiquées sur la carte jointe à ce volume. Les chiffres suivants permettront de compléter les indications fournies par cette carte jusqu'au 1er janvier 1860.

Ont été livrées à la circulation, en 1857, 1858 et 1859, les lignes suivantes :

1857

Morcenx à Saint-Martin d'Oigny	26 kil.
Nogent sur Marne à Nangis	55
Toulouse à Cette	219
Nangis à Flamboin (Montereau)	25
Troyes à Chaumont	96
Donjeux à Chaumont	51
Laval à Rennes	75
Arvant à Brioude	10
Ambérieu à Seyssel	65
Dôle à Salins	38
Raccordement de Givors	3
Saint-Germain-des-Fossés à la Palisse	17
Bourg à la Saône	34
Blainville à Épinal	51
Raccordement à Tours	3
Rives à Piquepierre (Dauphiné)	35
La Saône à Mâcon	2
Coutras à Périgueux	75
La Teste à Arcachon	3
Nantes à Saint-Nazaire	62
Tergnier à Laon	20
Creil à Beauvais	37
Laon à Reims	52
Saint-Martin d'Oigny à Mont-de-Marsan	13
Niort à la Rochelle et à Rochefort	84
Châlons à Mourmelon (chemin de fer du camp)	25
Dannemarie à Mulhouse	25
Chaumont à Langres	35
Bességes à Alais	30

1858

Alençon à Argentan	43
Belfort à Dannemarie	22
Narbonne au Vernet	59
Langres à Vesoul	84
Robiac à Trelys	2
Seyssel à Genève	52

Vesoul à Belfort	61 kil.
Carmaux à Alby	15
Besançon à Belfort	96
Noyelles à Saint-Valery	6
La Palisse à Roanne	49
Reims à Retbel	38
Lisieux à Pont-l'Évêque	18
Lyon à Bourgoin	38
Piquepierre à Grenoble	3
Raccordement à Cette	4
Hautmont à la frontière	11
Le Vernet à Perpignan	4
Busigny à Somain	49
Caen à Cherbourg	131
Tours au Mans	94
Chalindrey à Gray	45
Montauban au Lot, et prolongement	171
Traversée de Fécamp	2
Montauban au Lot, et prolongement	171
Culoz à la frontière	2
Rethel à Charleville	49
Béziers à Bédarieux	42
Marseille à Aubagne	17
Traversée de Roanne	3
Longueville à Provins	7
Charleville à Donchery	14
Bédarieux à Graissessac	10

1859

Le chemin de Saint-Denis à Creil	45 kil.
De Thionville à la frontière	16
De Paris à Vincennes	17
De Donchery à Sedan	4
De Charleville à Nouvion	7
D'Argentan à Mézidon	45
De Coulibœuf à Falaise	7
De Montluçon à Moulins et à Bezenet	88
D'Aubagne à Toulon	50
De Saint-Étienne à Firminy	12
Embranchement de la Joliette	3
De Saint-Clair aux Brotteaux	3
De la Guillotière aux Brotteaux	5
De Mont-de-Marsan à Riscle	48
De Riscle à Tarbes	51

En ajoutant à ces lignes, ouvertes en 1857, 1858 et 1859, les 6,186 kilomètres livrés précédemment à la circulation, nous trou-

verons, pour la longueur totale des lignes en exploitation au 1er janvier 1860, 9,076 kilomètres.

Parmi les chemins ouverts récemment on remarque surtout :

1° Le chemin de banlieue de Paris à Vincennes. L'entrée dans Paris de ce chemin, longue de 3 kilomètres seulement, a coûté environ 10 millions.

2° Le chemin de Thionville à la frontière. Ce chemin, se soudant au réseau du Luxembourg hollandais, a créé une nouvelle voie de communication internationale d'une certaine importance, puisqu'elle complète la ligne ferrée d'Anvers à Bruxelles, à Arlon, Luxembourg, Metz, Nancy et Strasbourg. En 1860, l'achèvement du pont de Kehl établira un lien d'une plus grande importance encore avec l'Allemagne entière. On pourra alors effectuer le trajet direct de Paris à Vienne, par Münich, sur une voie ferrée. Cette voie aura 1,400 kilomètres de longueur. Un autre chemin de fer long de 690 kilomètres conduira de Vienne à Baziasch sur le Danube. De Baziasch pour se rendre à Constantinople on parcourra une portion de fleuve longue de 600 kilomètres sur bateau à vapeur jusqu'à Czernavoda. De Czernavoda à Kustendjee, port de la mer Noire, on trouvera un nouveau chemin de fer long de 60 kilomètres, et de Kustendjee à Constantinople enfin la distance étant de 450 kilomètres, le service se fera régulièrement, au moyen de départs quotidiens, par bateaux à vapeur.

Allemagne. — Au 1er janvier 1857, le réseau des chemins de fer allemands offrait un développement de 10,832 kilomètres.

Dans le courant de 1857, il s'est accru de 625 kilomètres, savoir :

De Kreutz par Kustrin à Francfort-sur-Oder.	133.63 kil.
De Dirschau à Marienbourg.	17.15
Berlin, Schweidnitz, Fribourg : de Kœnigszelt à Liegnitz. .	47.08
Magdebourg, Leipzig : de Schœnefeld à Étassfurt avec embranchement.	31.19
Chemins Rhénans, chemin de ceinture à Cologne.	0.90
Aix, Maestricht, Hasselt-Landen.	27.60
Développements insignifiants de plusieurs autres chemins. .	19.95
Chemin du Sud-Est d'Autriche.	85.57
— du Sud d'Autriche.	145.25

Chemin Louis du Palatinat : embranchements, Hombourg, Deux-Ponts	10.95
— Louis de Hesse (rectification du chiffre de 1856)	3.25
— de l'État de Brunswick	59.55
— de Hanovre	24.07
— Glückstadt-Elmshorn (Holstein)	17.10

Il existait, en dehors des lignes principales, des chemins de fer en exploitation partielle ou de moindre importance dont l'étendue peut être évaluée à 495 kilomètres, ce qui porte le développement total des voies ferrées de l'Allemagne, à la fin de 1857, à 11,950 kilomètres.

En 1858, on a ouvert les chemins de :

Munich à Landshut	66	kil.
Mayence à Darmstadt	37.5	
Darmstadt à Aschaffenbourg	30	env.
Cobourg à Eisenach	125	
Cobourg à Sonneberg	18	
Zwickau à Schwarzenberg	37.5	
Lahnstein à Ems	12	
Aussig à Tœplitz	18.5	
Temesvar à Baziasch	114.8	
Bingerbruck à Kreuznach	14.8	
Rosenheim à Kufstein	37.5	
Kufstein à Inspruck	74	env.
Neuwied à Coblentz. / Remoyen à Neuwied.	45.5	
Cobourg à Lichtenfels	16	env.
Bonne à Remoyen	6.7	
Josephstadt à Falgendorf	40.7	
Oppeln à Tœplitz	75.8	
Saarbruck à Merzig	40.5	

En 1859, ont été livrés à la circulation les chemins de :

Hochingen à Reuslingen	53	
Turgi à Waldshut	10	env.
Durlach à Wilferdingen	8.5	
Linz à Lambach	37	
Cobourg à Lichtenfel	16	
Coblentz à Bingen	66	env.
Landshut à Ratisbonne	84	
Nuremberg à Ratisbonne	135.5	

Additionnant la longueur des lignes déjà exploitées au 1er jan-

vier 1858 et celle des lignes livrées au public en 1858 et 1859, nous trouvons pour la longueur du réseau exploité au 1er janvier 1860 : 13,146 kil.

Le chemin de Coblentz à Bingen, tout récemment terminé, complétant la voie ferrée de Cologne à Bâle, permet aux trains express d'effectuer ce parcours en treize heures. En 1860, le chemin de Kehl à Vienne sera complété, et le dernier tronçon de ce chemin sera inauguré. On pourra donc faire le voyage de Paris à Vienne, dès cette année, par une voie ferrée sans interruption.

Suisse. — Les chemins suisses ont fait en 1857, 1858 et 1859, de grands progrès. — Pendant ces trois années on a complété le chemin central suisse conduisant de Bâle à Berne, Arau, Zurich, Soleure et Bienne, et soudé ce chemin aux chemins de fer français de l'Est.

On a livré à l'exploitation les chemins :

D'Arau par Zurich et Wintherthur à Romanshorn, sur le lac de Constance;

De Zurich par Wintherthur et Saint-Gall à Rohrschach, sur le lac de Constance, et de Rohrschach à Coire par Sargans;

De Zurich à Schaffouse par Wintherthur;

Du Locle à la Chaux-de-Fonds, celui de Genève au Landeron sur le lac de Bienne par Morges, Lausanne, Yverdun et Neufchâtel, et enfin le chemin du Boveret à Martigny (vallée du Rhône).

Bâle est donc aujourd'hui en communication avec le lac de Constance et avec Coire par une voie ferrée non interrompue, et il l'est avec Genève, sauf une petite lacune entre le Landeron et Bienne. Ce dernier tronçon serait depuis longtemps exploité sans l'incroyable opposition du gouvernement bernois, qui en a retardé l'exécution dans un déplorable intérêt de clocher.

Les marchandises venant de France ou allant de Suisse en France peuvent désormais traverser la ville de Bâle sans transbordement d'un waggon dans un autre.

On annonce enfin pour le dernier mois de l'année 1860 ou pour le printemps de 1861 l'entier achèvement de la ligne de Genève à Saint-Maurice (frontière du Valais) et l'ouverture de la portion de

Martigny à Sion, en sorte que l'on pourrait effectuer sur chemin de fer le trajet tout entier de Genève à Sion.

Angleterre. — En Angleterre, où le sol est déjà couvert de chemins de fer, quelques embranchements d'un petit parcours ont été terminés. Mais nous ne pouvons en indiquer la longueur.

Russie. — En Russie, la grande Compagnie franco-russe a ouvert, en 1859, une nouvelle partie de la ligne de Saint-Pétersbourg à Varsovie, de manière à compléter la section de Saint-Pétersbourg à Pskov, longue de 259 kilomètres.

Plusieurs lignes importantes seront probablement livrées à la circulation dans le courant des années 1860 et 1861.

En voici la liste :

Pskov à Ostrov, en 1860..	52 kil.
Ostrov à Dunabourg, en 1860.	206
De Kovno à la frontière de Prusse, vers Kœnigsberg, en 1860..	171
Dunabourg à Varsovie (fin 1860).	575
Moscou à Vladimir, en 1860..	212
De Vladimir à Nijni (fin 1861).	222

La voie ferrée de Paris à Saint-Pétersbourg par Kœnigsberg ou par Varsovie se trouverait ainsi complétée en 1860 ou au moins en 1861, et celle de Paris à Nijni (frontière d'Asie) en 1861.

Ainsi il ne resterait plus à terminer au commencement de 1862, parmi les grandes artères qui ont été entreprises, que celle de Moscou à Théodosie.

Espagne. — Pendant l'année qui vient de s'écouler, l'Espagne a présenté, vis-à-vis des autres nations de l'Europe, un contraste frappant. Tandis que l'esprit d'entreprise se trouvait partout paralysé, une animation remarquable se manifestait dans la Péninsule. Les travaux commencés étaient continués. De nouvelles constructions étaient entamées, et des projets nouveaux étaient soumis en grand nombre à l'autorité. Ce mouvement industriel est d'autant plus intéressant que de nombreux capitaux étrangers sont allés en Espagne y faire fructifier les entreprises nouvelles.

Pour procéder aux études de chemins de fer, il faut, en Espagne, comme dans la plupart des autres pays, être muni d'un arrêté du

gouvernement. Dans l'année 1859, le ministère a autorisé cinquante-six demandeurs à faire dresser les projets de voies nouvelles; en outre, les ingénieurs de l'État ont dressé les plans de cinq autres lignes ferrées. Toutes ces nombreuses demandes n'ont pu encore être accordées. Cependant les Cortès ont autorisé le gouvernement à concéder neuf chemins. L'État a définitivement octroyé six concessions : Alcazar de San-Juan à Ciudad-Real; des mines de Buitron à l'Odiel; Albacète à Carthagène; Cordoue à Malaga; Quintanilla de las Torres aux mines d'Orbo; Ciudad-Real à Badajoz. C'est par adjudication publique que ces concessions sont accordées, afin que l'État, qui les subventionne largement, ait à dépenser le moins possible.

Si des travaux en préparation on passe à ceux dont l'achèvement a pu être opéré, on voit que l'activité n'a pas été moins grande. Dans l'année qui vient de finir, on a terminé la ligne du golfe de Valence à Almanza, qui a été livrée à la circulation le 21 novembre. Le 3 juillet on a inauguré, dans le réseau catalan, la section de Manresa à Tarrasa, du chemin de fer de Barcelone-Saragosse. De la ligne qui rejoindra la capitale au réseau catalan, on a pu ouvrir aux transports, le 2 juin, 57 kilomètres de Madrid à Guadalajara. Toujours dans la même partie est de l'Espagne on a inauguré, à la fin de décembre, le prolongement jusqu'à Tordera du chemin de fer de Barcelone à Arenys-de-Mar, qui doit finalement atteindre la frontière française. Dans le réseau central, le chemin de Séville-Xérès a été reçu officiellement le 31 août, et celui de Cordoue à Séville exploité au commencement de juin.

Quant aux travaux en cours d'achèvement, ceux de la ligne de Cadix à Port-Royal seront reçus dans peu de jours. Les plus importants, ceux de la Compagnie du Nord, sont activement poursuivis, et, vers le mois d'octobre, cette Société inaugurera les sections de San Chidrian à Valladolid, et de Valladolid à Burgos. L'embranchement du chemin de fer du Nord, de San Isidro de Duenas à Alar del Rey, sera achevé avant cette époque. Pour le mois de mai on espère compléter les travaux des voies de Barcelone à Martorell, et de Montblanch à Reus. Enfin une grande énergie est apportée à l'entreprise de Saragosse à Alsasua.

Voici du reste un tableau qui indique la longueur des différentes lignes du réseau espagnol livrées à l'exploitation en 1858 et 1859, et les recettes.

NOMS DES LIGNES.	ANNÉE 1859.		ANNÉE 1858.	
	KILOMÈTRES.	RECETTE KILOMÉTRIQUE.	KILOMÈTRES.	RECETTE KILOMÉTRIQUE.
		fr.		fr.
Madrid à Alicante.	482	23,857	455	24,536
Madrid à Saragosse (6 mois). . . .	17	9,700	»	»
Séville à Cordoue (8 mois).	131	8,453	»	»
Valence à Almanza.	138	12,115	78	19,177
Alar à Santander	91	24,401	91	7,157
Barcelone à Saragosse.	57	20,418	21	21,806
Barcelone à Martorell.	27	20,065	27	20,027
Barcelone à Arenys.	36	30,230	36	29,874
Barcelone à Granollers.	29,5	24,167	29,5	19,935
Jerez à Trocadero.	27,5	35,146	27,5	40,502
Langreo à Gyon.	39	»	39	12,213
Tarragone à Reus.	14	14,136	14	13,376
	1,069		818	

Le plus grand obstacle au succès des voies ferrées en Espagne est aujourd'hui le défaut de bonnes routes aboutissant aux stations. Il sera prochainement levé.

Portugal. — Un réseau de 480 kilomètres vient d'être concédé à une Compagnie franco-portugaise. Il doit être exécuté dans le délai de trois années. Ce réseau comprend les lignes de :

Lisbonne à la frontière d'Espagne par Badajoz ;

Lisbonne à Oporto.

M. José de Salamanca en est l'entrepreneur général.

Suède et Norvége. — En Suède la longueur des chemins livrés à l'exploitation est très-faible. Nous en donnons la liste, que nous devons à l'obligeance de M. Mathis, ancien élève de l'École centrale, ingénieur au service du gouvernement suédois :

Chemins exécutés par l'État, de Gothembourg à Torebada. . .	176 kil.
De Malmoe à Hore.	56
Chemins exécutés par les Compagnies entre Rœbra et Aboga. .	45
Chemins entre Fahlun (mines de cuivre) et Geffle (port de mer).	42
TOTAL GÉNÉRAL.	319

Le gouvernement suédois paraissant peu disposé à confier l'exécution des grandes lignes à des Compagnies financières, il est à craindre qu'il ne puisse obtenir des États généraux les crédits nécessaires pour poursuivre les travaux avec activité. L'ouverture de ces lignes pourrait donc éprouver de longs retards.

Pays-Bas. — En Hollande on a terminé la ligne de la frontière française à la frontière belge par Luxembourg. Ce ne sera qu'en 1861 que l'on ouvrira celle de Luxembourg à Trèves.

Turquie. — On annonce l'ouverture prochaine du premier chemin de fer turc, celui de Czernavoda au port de Kustendjee, sur la mer Noire, ayant pour objet d'éviter la navigation très-difficile du Danube à son embouchure, et de réduire sensiblement le trajet de Vienne à Constantinople.

Égypte. — En Égypte on a complété le chemin du Caire à Suez à travers le désert.

Au commencement de 1859, d'après l'Annuaire Chaix, l'Égypte possédait près de 600 kilomètres de chemins de fer ainsi répartis :

Alexandrie au Caire, environ	210 kil.
A Marioulh	27
A Meks	10
A Rasateen	5
Zanta à Samanud	35
Le Caire à Suez	147
A Berregh	24
A Beni Sueff	122
Ensemble	580

auxquels il faut ajouter les embranchements du Caire à la citadelle et à Kaar-Nin, de Samanud à Mansoura et à Damiette, de Damanhour à Afte, et jusqu'à Rosette.

Mexique. — Au Mexique, le chemin de transit à travers l'isthme de Téhuantepec a été ouvert à la fin de l'année 1857.

« Ce chemin, dit l'auteur de l'Annuaire Chaix, abrége de dix jours sur vingt-quatre la durée du trajet de la Nouvelle-Orléans à San-Francisco par l'isthme de Panama ou par le lac Nicaragua. Il est le supplément d'une voie directe du Mississipi à San-Francisco, aux États de l'Atlantique et à la Californie, sans obliger, comme

celui de Panama, à passer sous les canons de la Havane et de Kingstown. »

Inde. — La tranquillité rétablie dans l'Inde, les Anglais ont repris avec activité l'exécution du grand réseau depuis longtemps commencé. (*Voir* Ier volume, p. 60.)

Autres pays. — Nous ne possédons aucun renseignement précis sur les nouvelles voies ouvertes pendant ces dernières années dans les autres pays.

TRACÉ.

Aux États-Unis, on a construit, pour traverser des montagnes, des chemins de fer dont la pente atteint 5 centimètres et demi. Mais le chemin n'est alors qu'un chemin *provisoire* qui a pour objet de permettre aux waggons le passage des montagnes en attendant que des souterrains en cours d'exécution soient terminés. Voici ce que nous lisons dans les rapports publiés par MM. Douglas Galton et Ellet :

« Sur la ligne de Baltimore à l'Ohio, dit M. Douglas Galton, afin d'éviter, pour quelque temps, la construction onéreuse d'un tunnel, on a fait une série de zigzags s'élevant jusqu'au sommet d'une montagne à l'aide de pentes dont le maximum est de 0m,0556. — Chaque zigzag se termine par un petit palier; de cette façon le train sur le palier, machine en tête, passe au zigzag suivant, machine en queue, et ainsi de suite. — La charge que l'on peut traîner sur un pareil chemin est nécessairement très-faible. On y rencontre des courbes de 110 mètres de rayon; celles de 122 mètres sont fréquentes.

D'après M. Ellet, le *Mountain-Top-Track*, portion de la ligne de Richmond à l'Ohio, traverse le faîte de la *Crête-Bleue à Rockfish-Gap*, à la hauteur de 575 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le plateau de ce faîte est très-étroit; on le franchit à l'aide d'une courbe de 90 mètres de rayon; il peut à peine contenir un train complet; sur les deux versants la pente descend immédiatement avec une déclivité considérable.

Du côté de l'ouest la pente, si elle était uniforme, serait de

$0^m,042$; la pente maxima est de $0^m,053$. Des deux côtés de la montagne les courbes ont 90 mètres de rayon ; elles sont tracées sur des rampes de $0^m,045$. — L'excès de pente maxima sur la pente moyenne résulte de ce que l'on a compensé aussi bien que possible par la distribution des rampes les effets de la courbure.

Du côté de l'est la pente moyenne, si elle était uniforme, serait de $0^m,049$. La pente maxima, qui règne en 800 mètres, est de $0^m,056$. Sur un point où la pente est $0^m,045$, on n'a pu éviter une courbe dont le rayon n'est que de 71 mètres 37 centimètres.

Dans l'automne de 1856, le service se faisait avec des locomotives sur ce chemin depuis deux ans et demi. Il n'avait été arrêté qu'une seule fois, malgré les neiges qui souvent avaient couvert la montagne.

Les machines sont montées sur six roues couplées dont le diamètre est de $1^m,067$. L'écartement des essieux extrêmes est de $2^m,85$. Le diamètre des cylindres est de 42 centimètres; leur course de 51 centimètres. La machine porte son eau et son bois. Elle pèse, avec l'approvisionnement complet, 25 tonnes environ.

Pour permettre aux machines de s'adapter aux courbures du chemin, les essieux d'avant et du milieu sont reliés par des tirants en fer forgé terminés à chaque extrémité par des boîtes cylindriques destinées à les entraîner. Ces tirants tournent autour de chevilles sphériques fixées au châssis de la machine de chaque côté et reposant sur leurs centres.

Ces machines remorquent habituellement au passage du *Mountain-Top-Track* une charge brute de 40 à 43 tonnes; quelquefois, mais exceptionnellement, elles remorquent 50 tonnes. — La vitesse ordinaire, lorsque les trains sont chargés, est de 12 kilomètres en montant et de 9 à 10 kilomètres en descendant.

Aucun waggon ne franchit la montagne sans être muni d'un frein capable d'enrayer chacune des roues. — Toutes les dispositions proposées pour permettre au mécanicien d'agir sur tous les freins à la fois ont été rejetées, parce que, la tige unique qui aurait transmis l'action du mécanisme venant à se rompre, tous les freins qui en auraient dépendu seraient devenus inutiles.

Les attelages sont d'une très-grande solidité et disposés avec un soin tout particulier.

TRAVAUX D'ART.

Fondations du pont de Kehl. — Aux chemins de fer de l'Est, lorsqu'il s'est agi de fonder les piles du pont du Rhin à construire

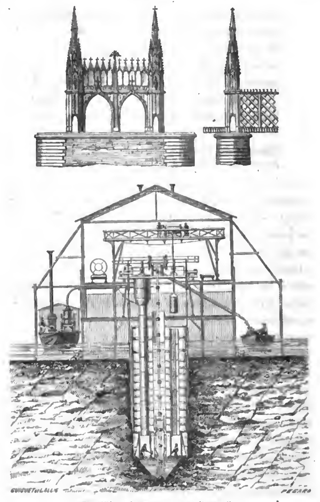


Fig. 651. — Coupe en travers d'une pile.

vis-à-vis de Kehl, dans un fond de gravier d'une profondeur indé-

finie, on songea d'abord à employer le procédé de Triger, décrit dans le premier volume, pages 447 et suivantes. Mais ce procédé est long et coûteux; l'extraction des déblais surtout au travers

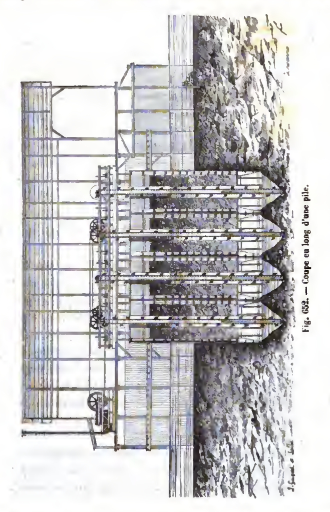


Fig. 652. — Coupe en long d'une pile.

des écluses d'air est très-lente et fort dispendieuse, et le poids de métal qui reste perdu dans les fondations est considérable. Il était important surtout de pouvoir fonder dans l'espace de temps com-

pris entre deux crues de la rivière. M. Fleur-Saint-Denis, ingénieur des ponts et chaussées et ingénieur principal aux chemins de fer de l'Est, guidé par M. Vuigner, ingénieur en chef, a imaginé pour cela une méthode nouvelle (fig. 651 et 652) beaucoup plus expéditive et plus économique.

On pouvait douter du succès. Aujourd'hui les quatre piles sont terminées; leurs fondations sont descendues uniformément à 20 mètres au-dessous de l'étiage, ou 22 mètres environ au-dessous des eaux moyennes. La première a été terminée en soixante-huit jours, la deuxième en trente-cinq, la troisième en vingt-cinq et la quatrième en vingt-deux, sans aucun accident. Le succès de cette méthode a donc été complet. Voici en quoi elle consiste :

Au lieu de cylindres en fonte, M. Fleur-Saint-Denis emploie d'énormes caissons rectangulaires en tôle, longs de 7 mètres et larges de 5^{m},80, fermés dans le haut et ouverts dans le bas comme les cylindres en fonte. Il juxtapose plusieurs caissons comme on juxtapose plusieurs cylindres. L'opération est la même pour chaque caisson.

Le caisson, étant moins haut que le cylindre, est, une fois posé sur le sol, entièrement plongé dans l'eau ; dans la paroi supérieure formant couvercle sont percés trois trous cylindriques : deux trous latéraux, chacun de 1 mètre de diamètre, et un trou central de 1^{m},50. Deux tuyaux ou cheminées cylindriques en tôle sont fixées aux bords des trous latéraux et s'élèvent jusqu'au-dessus de l'eau. Elles sont surmontées chacune d'une chambre à air, semblable à celles décrites en parlant de l'ancien procédé des tubes en fonte. Le trou du milieu donne passage à un troisième tuyau ou cheminée centrale qui est ouverte aux deux bouts et descend à travers le caisson jusqu'au fond de la rivière.

L'eau, dans l'origine, s'élève dans l'intérieur du caisson et dans les trois tuyaux au même niveau qu'à l'extérieur ou à peu près. On chasse, à l'aide d'une pompe foulante, de l'air dans les deux cheminées latérales, de manière à refouler l'eau de ces tubes et de la partie du caisson qui enveloppe la cheminée centrale, et à remplir les tubes latéraux et cette partie du caisson d'air comprimé. La cheminée centrale reste ainsi remplie d'eau. Les ouvriers sont intro-

duits dans le caisson ou en sortent par les cheminées latérales et au moyen des écluses d'air. Quant aux déblais, ils sont extraits au moyen d'une noria logée dans la cheminée centrale et plongée pour la plus grande partie dans la colonne liquide. On sait qu'une noria est composée d'une chaine sans fin passant sur deux roues, chaine à laquelle sont fixés des godets. C'est l'appareil que l'on emploie sur les bateaux dragueurs pour nettoyer ou approfondir les rivières. La chaine étant mise en mouvement par une machine, les godets montent de la partie inférieure de la cheminée à la partie supérieure. Ils se chargent, à la partie inférieure, de gravier que les ouvriers enlèvent avec leurs outils tout autour de la caisse sous les bords et repoussent en bas de la cheminée centrale, et ils se vident à la partie supérieure dans un conduit incliné en bois, par lequel le gravier glisse dans un bateau où on le recueille.

Pour le fonçage de la première pile, on a élevé au-dessus des parois latérales du caisson en tôle une caisse en bois dans l'intérieur de laquelle on a coulé du béton qui sert en même temps à charger la caisse et à former le corps de la pile autour des cheminées. Les caissons en tôle étaient suspendus à des verrins au moyen desquels on a pu modérer et régler la descente.

Les caissons en tôle, arrivés à la profondeur voulue, ont été à leur tour remplis de béton et de maçonnerie, ainsi que les vides ou puits circulaires laissés par les cheminées après leur enlèvement; ces cheminées ont été réemployées sur les autres piles.

Pour les trois dernières piles on a supprimé le caisson en bois et on a élevé sur les caissons en fer, au fur et à mesure de leur descente, un massif continu de maçonnerie parementée en libages ou en moellons smillés; on a aussi supprimé les cheminées centrales en tôle en se bornant à parementer en briques les parois du puits contenant la drague verticale; enfin on a réuni d'une manière invariable les caissons d'une même pile, et on a établi entre eux des communications qui ont facilité beaucoup le travail en permettant aux ouvriers de se porter facilement d'un caisson dans l'autre, suivant les besoins.

Ces modifications ont eu pour résultat une économie notable, surtout dans la durée du travail.

Le tablier du pont de Kehl doit reposer sur deux culées et sur quatre piles; les deux piles extrêmes sont presque doubles en volume des piles intermédiaires. Chacune de ces piles est fondée sur quatre caissons, et les piles intermédiaires sur trois seulement.

M. Fleur-Saint-Denis se proposait d'enfoncer un seul caisson de très-grande dimension pour chaque pile. Il n'a divisé la pile entre plusieurs caissons que d'après les conseils d'ingénieurs haut placés dans le corps des ponts et chaussées, qui craignaient que la manœuvre de caissons si volumineux ne devînt très-difficile.

Il y a lieu de penser toutefois qu'il n'eût pas été impossible de fonder chaque pile au moyen d'un seul caisson, car les modifications introduites dans les trois dernières piles reviennent à peu près à cela, puisque les caissons juxtaposés, réunis d'une manière invariable et communiquant entre eux, n'en forment en réalité qu'un seul; toutefois la division en quatre caissons, entraînant un plus grand nombre de cheminées d'extraction, a eu pour résultat de faciliter et d'abréger singulièrement le travail d'enlèvement des déblais, et, par suite, la durée de la descente, et sous ce rapport il est heureux qu'elle ait été adoptée dès le principe.

Pont suspendu du Niagara. — Nous avons parlé, dans le premier volume de cette seconde édition, des essais faits pour appliquer le principe de la suspension aux ponts qui donnent passage aux chemins de fer, et du peu de succès qu'ils avaient obtenu jusqu'alors. Nous avons, depuis le jour de la publication de ce premier volume, reçu les plans et élévations d'un pont suspendu établi depuis peu de temps sur le Niagara (fig. 653). Ce pont, qui supporte en même temps une route et un chemin de fer à 74 mètres au-dessus de la rivière, paraît donner toute satisfaction. Il a 246 mètres de longueur. On lui a donné une rigidité suffisante au moyen de parapets d'une certaine hauteur. Il n'a coûté que 2,000,000 de fr.

On en trouvera une description complète et les dessins d'exécution dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur.*

Percement du mont Cenis. — Nous avons, dans notre premier volume, promis de décrire dans l'Appendice annexé au second volume le procédé employé pour le percement du mont Cenis. Nous ne pouvons, faute d'espace, entrer dans de grands détails sur ce

procédé; mais nous le ferons connaître au moins sommairement.

Il consiste à disposer sur un chariot placé au fond du souterrain en voie de percement un certain nombre de fleurets de niveau, nombre bien supérieur à celui dont on pourrait faire usage en em-



Fig. 635.

ployant les procédés ordinaires. Ces fleurets sont pressés contre la roche par une machine fort simple à pistons mis en mouvement par l'air comprimé. La même machine fait tourner le fleuret lorsque cela devient nécessaire. L'air comprimé, après avoir agi sur les pistons, se répand dans la galerie et sert à la ventiler. Il remplace

l'air vicié par la respiration des ouvriers, par la combustion des lampes et par l'usage de la poudre, résultat qu'on n'obtiendrait pas, au mont Cenis, à l'aide des puits d'aérage, à cause de la grande hauteur de la montagne au-dessus de la galerie. — On diminue la quantité d'air vicié par la combustion de la poudre en employant de la poudre de guerre au lieu de poudre de mine.

Une machine hydraulique alimentée par des cours d'eau de l'extérieur comprime l'air dans un réservoir qui en fournit la quantité nécessaire à la pompe à air, et supplée au besoin à l'insuffisance de l'air sortant de cette pompe pour l'aérage de la galerie.

Le trou de mine, dans des roches de même dureté, se fait, avec les perforateurs à air, douze fois plus vite qu'avec les perforateurs ordinairement en usage; mais il ne faudrait pas en conclure que l'opération totale, qui comprend en outre la manœuvre du chariot, le chargement de la mine et le déblayement du terrain, a lieu dans un temps douze fois moindre que l'opération avec les perforateurs ordinaires.

L'idée première d'employer la force motrice des chutes d'eau à comprimer de l'air pour transmettre le mouvement aux machines perforatrices et produire la ventilation appartient au savant professeur M. Daniel Colladon, de Genève. Ce n'est qu'en 1852 qu'il a pris un brevet, en Piémont, pour l'application de cette idée; mais il y a près de vingt-cinq ans qu'il nous l'a communiquée et qu'il l'émettait dans un cours à l'École centrale des arts et manufactures, et déjà, en 1826, il proposait à M. Brunel père, dans un Mémoire dont il nous a donné connaissance, d'employer l'air comprimé dans le percement du tunnel comme moyen de se préserver des irruptions de la Tamise.

Une des questions les plus importantes à résoudre était celle de savoir quelle serait la résistance de l'air au passage des conduites d'une grande longueur et d'un certain diamètre; la puissance transmise au fond du tunnel et la possibilité de le ventiler jusqu'à une profondeur de 6,000 mètres dépend de cette résistance. M. Colladon, se basant sur de nombreuses expériences qu'il avait faites en avril 1852 avec une conduite de $0^m,25$ de diamètre et de 700 mètres de longueur, annonçait, dans un Mémoire joint à sa demande de

brevet, que les coefficients de résistance adoptés jusqu'alors pour le mouvement des gaz dans les conduites nettes à l'intérieur étaient trop forts et devaient être réduits de moitié à fort peu près. D'autres expériences, faites par ordre du gouvernement piémontais, ont prouvé depuis lors qu'à la distance de 6,500 mètres (moitié de la longueur de la galerie) pour un tube de 10 centimètres de diamètre avec une vitesse de 5 mètres à l'origine de la conduite et une pression de six atmosphères dans le réservoir, la force transmise à cette distance serait encore de un tiers d'atmosphère. On a constaté aussi que la quantité d'eau fournie par les ruisseaux du voisinage suffirait à la ventilation.

L'appareil perforateur est fort ingénieux. Il a été inventé par trois ingénieurs sardes, MM. Grandis, Grattone et Sommeiller. Ces ingénieurs avaient, en 1855, établi avec l'appui du gouvernement piémontais une machine à comprimer l'air pour refouler les convois du chemin de fer à la montée des Apennins. Ce système n'ayant pas réalisé l'économie qu'on en espérait, on proposa, en 1857, le transport des machines comprimantes à Modane et à Bardonneche pour entreprendre le percement du tunnel au moyen de l'air comprimé, et elles furent adoptées à la suite d'expériences nouvelles faites dans le but d'en étudier l'emploi par M. Menabrea, colonel du génie et député aux Chambres piémontaises, dont le nom a figuré glorieusement dans les bulletins de l'armée d'Italie.

Depuis l'adoption du crédit demandé aux Chambres piémontaises en 1857, on n'a employé, pour le percement, que les moyens ordinaires, parce que l'aération ne présentait pas de difficultés près des extrémités du tunnel.

Au commencement de cette année 1860, après un travail d'environ deux ans, on a ouvert 820 mètres de tunnel en grande section et revêtu en maçonnerie les deux tiers de cette longueur. Du côté de Bardonneche (côte d'Italie) l'avancement est plus facile, parce que la roche est un calcaire schisteux, tandis que du côté de Modane (côte de France) elle contient beaucoup de quartz, et de plus il existe de nombreuses filtrations.

Mais une partie des machines de compression, nous écrit-on sous la date du 22 avril, est arrivée, et on pense qu'elles pourront

fonctionner avant peu. *Jusqu'à présent rien ne fait supposer d'obstacle sérieux qui puisse s'opposer à l'achèvement de ce beau travail.* Aussi n'est-ce pas sans étonnement que nous lisons dans le numéro du 28 avril de la *Presse* que déjà le renouvellement de l'air dans la galerie du mont Cenis, constamment altéré par les produits de la combustion de la poudre, de la combustion des lampes et de la respiration des hommes, présente les plus grandes difficultés. D'après le même journal, MM. Vallaury et Bucquet ont, pour surmonter ces difficultés, étudié une machine-outil attaquant directement la roche, machine qui, en permettant d'éviter l'emploi de la poudre, améliorerait le travail de percement des tunnels.

L'appareil imaginé par MM. Vallaury et Bucquet se compose de plateaux circulaires en fonte adaptés, à intervalles égaux, sur un arbre horizontal et armés sur un point de leur circonférence d'outils d'acier analogues à ceux fixés sur les machines destinées à travailler les métaux et le fer. Les plateaux étant animés d'un mouvement de rotation, les outils qu'ils supportent attaquent et rongent la roche, et, en la triturant et la réduisant en poussière, y creusent des entailles de 6 centimètres et de 2^{m},20 de hauteur, en laissant entre elles des cloisons de 30 centimètres d'épaisseur. Ces cloisons, se trouvant isolées ainsi des deux côtés, sont ensuite facilement abattues au moyen de coins et de leviers.

Déjà M. Mauss, l'habile ingénieur belge dont le nom se rattache à l'exécution du plan incliné de Liége et à celle du chemin de Turin à Gênes, avait proposé, avant que l'on songeât à se servir de l'air comprimé, de percer la roche sans faire usage de la poudre, au moyen d'une machine composée de fleurets juxtaposés mus par des cames et des ressorts. Pour transmettre le mouvement aux fleurets, M. Mauss proposait d'utiliser les cours d'eau de Modane et de Bardonneche. Des roues mues par ces chutes devaient transmettre leur puissance au moyen de câbles portés par des poulies. Ces mêmes câbles devaient mouvoir des ventilateurs pour aérer la mine. Cette machine n'a pas été employée sans doute à cause de sa complication, et sans doute aussi à cause de la grande perte de force du travail produit par les roues dans la transmission de la force au fond de la galerie.

La machine de MM. Vallaury et Bucquet est plus simple peut-être; mais comment, dans ce cas, s'opèrent la mise en mouvement de cette machine et la ventilation de la galerie toujours nécessaire pour renouveler l'air vicié par la respiration des hommes et par la combustion des lampes? C'est ce que l'article de la *Presse* ne nous apprend pas. Est-il d'ailleurs démontré que les appareils de MM. Colladon, Grandis, Grattone et Sommeiller sont impuissants? Cela nous parait fort douteux, car il résulte de renseignements autres que ceux que nous avons déjà donnés, renseignements puisés aussi bien que les premiers à bonne source, que le percement n'a eu lieu jusqu'à présent que par les moyens ordinaires, que la longueur de la partie percée ne dépasse pas 1,000 mètres, dont moitié à peu près à chaque extrémité de la galerie, et enfin que les machines à comprimer l'air ne fonctionnent pas encore. L'une, celle du côté de Bardonneche, vient d'être montée, mais ne fonctionne pas; l'autre, celle de Modane, fabriquée dans les usines de Seraing, en Belgique, n'est terminée que depuis peu de temps, et n'est pas encore montée.

Pour éclaircir nos doutes enfin, nous avons écrit à M. Daniel Colladon, qui nous a répondu qu'effectivement on n'avait pas encore essayé les machines à comprimer l'air, et qu'il persistait à conserver une entière confiance dans le succès.

FABRICATION DES RAILS.

Généralités. — L'amélioration de la qualité des rails est une question qui continue à former l'une des principales préoccupations des ingénieurs de chemins de fer. On peut se rendre compte aujourd'hui, assez exactement, de leur durée; et on trouve partout que sur une ligne où la circulation a atteint un certain degré d'activité ils doivent être remplacés après dix ou douze années, quinze années d'usage au maximum. Toute la voie de Paris à Meaux, posée il y a onze ans seulement, vient d'être remplacée; et sur certains chemins, qui, à la vérité, se trouvent dans des conditions tout à fait exceptionnelles, on s'est vu obligé de pro-

céder à la réfection de parties considérables de la voie après 3, 4 ou 5 ans de travail (chemin de Saint-Étienne à Lyon).

Ainsi que nous l'avons annoncé dans le premier volume de cette seconde édition, nous avons envoyé un des inspecteurs du matériel fixe des chemins de fer de l'Est, M. Borgella, en Allemagne et en Belgique pour étudier les procédés de fabrication, puis, marchant sur ses traces, nous avons aussi visité une partie des usines où ces procédés étaient appliqués et comparé ces procédés à ceux qui sont en usage dans les usines françaises. Nous nous sommes procuré enfin des renseignements sur les procédés de fabrication des usines anglaises par M. Birlé, ancien inspecteur du matériel fixe de la grande compagnie russe. Le peu d'espace dont nous pouvons disposer ne nous permet pas de donner ici une analyse étendue des notes que nous avons entre les mains, ainsi que nous aurions désiré le faire. Nous nous bornerons à signaler les principales conséquences que l'on peut en tirer.

Choix du procédé. — Le même procédé de fabrication ne convient pas pour toute espèce de fonte. C'est donc à tort que l'on a prescrit pendant longtemps un procédé uniforme à tous les fabricants.

Le procédé doit être déterminé pour chaque usine par l'ingénieur en chef de la Compagnie d'accord avec le fabricant.

Surveillance de la fabrication. — La Compagnie ne doit, dans aucun cas, renoncer à son droit de surveillance dans les usines.

Rails en fer puddlé. — On a fabriqué des rails qui paraissent être de très-bonne qualité avec une seule espèce de fer, du fer puddlé, préparé spécialement pour cet usage. Ces rails sont sans doute moins sujets à se dessouder que ceux qui sont composés de deux espèces de fer. Comme toutefois on n'en a pas encore fait usage pendant un certain nombre d'années, on ne peut à cet égard invoquer une longue expérience.

Aux usines de Ruhrort et du Phénix, en Prusse, on fabrique des rails avec des trousses composées entièrement de fer puddlé. Le cinglage des boules s'opère au moyen du marteau à soulèvement.

Pour obtenir un bon soudage, les trousses doivent être fortement comprimées. On obtient ce résultat en se servant du marteau-

pilon ou du marteau à soulèvement. Mais, comme il augmente la masse des déchets, les fabricants répugnent à s'en servir. Ils reprochent d'ailleurs à ce procédé son prix élevé. Il ne paraît pas applicable à toute espèce de fer, et son succès dépend beaucoup de l'ouvrier.

Dans plusieurs usines d'Allemagne, on emploie avec avantage le marteau à pilon ou le marteau à soulèvement, si ce n'est pour le soudage des trousses que l'on convertit en rails, au moins pour le cinglage et l'épuration des boules dans la fabrication du fer en barres, ou pour le soudage des trousses servant à fabriquer les couvertures. Il importe alors de faire agir le marteau pilon par choc plutôt que par pression.

Composition des paquets. — La composition des paquets est très-variable.

Quand on emploie dans la composition des trousses deux espèces de fer, la couverture et quelquefois les deux barres extérieures de l'assise sur laquelle elle repose sont en fer corroyé à grains; le reste de cette assise ainsi que la troisième à partir de la couverture, en fer à grains; le corps du rail en fer à nerfs; et la partie inférieure du paquet en fer corroyé à grains ou à nerfs, selon que le rail est à double champignon ou à patin.

On renonce aux couvertures à rebords et on donne aux couvertures une épaisseur qui ne doit pas être inférieure à $0^m,20$.

Les couvertures qui forment les champignons de roulement sont assez généralement à grains fins et serrés; celles qui forment les patins sont quelquefois à nerfs bien épurés.

Mode de laminage. — Le laminage des paquets doit toujours être terminé à plat, jamais de champ.

Les pressions produites sur la trousse par le laminage doivent toujours aller en décroissant d'une manière uniforme, la proportion entre les dimensions des différentes cannelures étant la même dans presque toutes les usines. En Prusse, la trousse est alors plus courte, plus haute et plus large, pour arriver au même poids. En France, c'est le contraire, et, pour obtenir la même longueur de barre, il n'est pas nécessaire de donner autant de pression dès les premières cannelures.

Cassure. — Dans les provinces rhénanes, la cassure des rails à patin présente un champignon en fer à grains bien purs, assez fins et homogènes; une partie de la tige et le patin sont entièrement en fer nerveux.

Dans les meilleurs rails à patins sortant de nos usines françaises la cassure est entièrement grenue. Ces rails font toutefois un bon service.

Fabrication belge. — En Belgique on ne détermine plus dans les cahiers de charges la proportion de fer corroyé qui doit entrer dans la composition des trousses. On donne même aux fabricants la permission de composer les trousses entièrement de fer puddlé, mais à la condition de garantir les rails pendant deux ou trois ans.

Fabrication du Phénix. — A l'usine du Phénix sur les bords du Rhin, on fabrique d'excellents rails entièrement en fer puddlé, mais le cahier des charges stipule que les loupes pour fabriquer la tête des rails doivent être parfaitement épurées, à grains, et que les têtes doivent avoir dans le paquet telles dimensions, qu'elles aient dans le rail fini $0^m,032$ d'épaisseur. Les paquets faits dans ces conditions doivent être chauffés, martelés sous un marteau-pilon de 3,000 kilogrammes, et subir un allongement de $0^m,20$ à $0^m,30$. La garantie est de quatre ans. Ces rails se payent fort cher.

Fabrication du Creusot. — Au Creusot on pense que l'on pourrait fabriquer d'excellents rails en fer puddlé, mais il ne faudrait pas exiger des couvertures d'une seule pièce. La barre de fer puddlé d'une grande largeur, telle qu'on l'obtiendrait avec les fontes employées au Creusot, se criquerait trop facilement. Pour obtenir une bonne soudure, il faudrait un corroyage plus complet que celui qu'on fait subir aujourd'hui aux trousses, qui devraient être plus courtes, et, par suite, d'une section plus forte, pour obtenir dans le laminage plus de pression et d'étirage, et être passées à une seule chaude.

On repousserait l'emploi du marteau-pilon ou à soulèvement, parce qu'il s'appliquerait difficilement aux fers du Creusot, qui s'écraseraient. Le succès du martelage dépend de l'ouvrier, tandis que le laminage comprime la trousse indépendamment du lamineur.

Fabrication de Styring-Wendel. — A l'usine de Styring-Wen-

del, on ne martèle pas les trousses. On a amélioré la fabrication, en modifiant les dimensions de la trousse de manière qu'elle soit plus comprimée, en diminuant l'épaisseur des assises intermédiaires qui composent le corps du rail, en faisant subir deux chaudes au lieu d'une seule aux trousses, et enfin en chauffant toujours au blanc soudant presque coulant.

Fabrication d'Anzin. — A l'usine d'Anzin on a surtout amélioré la fabrication des rails par un laminage supérieur à celui des usines du Creusot et de Styring. Outre les trois cylindres dégrossisseurs, il existe aussi trois cylindres finisseurs. Ces cylindres ont un grand diamètre et font de soixante-quinze à quatre-vingts tours par minute.

Les trousses ont les dimensions ordinaires avec des couvertures rectangulaires de $0^{m},025$; on ne les chauffe qu'une seule fois au blanc soudant.

Le laminage avec ce système de trois cylindres dégrossisseurs et finisseurs se fait très-rapidement. Le rail se trouve donc fabriqué dans les meilleures conditions, étant fortement étiré dans les deux sens et conservant jusqu'à la fin une température assez élevée, qui contribue beaucoup au bon soudage des différentes assises de la trousse.

La cassure des rails de cette usine présente une section entièrement en fer à grains fins homogènes résistant bien aux épreuves par le choc et par la pression qui sont exigées dans les cahiers de charges.

Fabrication du pays de Galles. — Dans le pays de Galles on ne se sert pas de marteaux pour le cinglage, mais de presses. Ce mode de cinglage y est moins défectueux qu'ailleurs par suite de la grande chaleur que développe l'excellente houille de ce pays. Cette chaleur maintient les loupes à une haute température assez longtemps pour que les scories restent à l'état liquide et soient expulsées en grande partie.

Le laminage du paquet est fait dans des conditions telles, que les scories qui seraient restées dans le fer des mises sont définitivement et complétement enlevées.

Le fer reçoit toujours pendant le laminage deux chaudes. Le système de soudage des paquets, dans la première, remplace avantageusement la martelage préalable.

Au sortir du premier four à réchauffer, le paquet est passé dans un train de laminoirs qu'on appelle soudeurs, composé de deux cylindres ayant quatre cannelures rectangulaires (sauf la dépouille); ces cylindres tournent très-doucement (28 à 30 tours par minute). Cette opération préliminaire et toute spéciale aux usines du pays de Galles a un excellent effet sur le paquet.

On porte ensuite le paquet dans un second four à réchauffer, puis on le passe par quatre cannelures des cylindres dégrossisseurs et cinq des cylindres finisseurs; total, 13 cannelures.

Les ébaucheurs et les finisseurs marchent généralement à une même vitesse, qui est de 80 à 90 tours par minute.

Fabrication du Staffordshire. — Dans le Staffordshire, où le fer est généralement nerveux, on obtient difficilement de bonnes soudures.

Cahier de charges. — Parmi les moyens d'obtenir de bons rails, il faut placer en première ligne la garantie imposée au fabricant par le cahier de charges.

Cette garantie, qui n'était, il y a quelques années, que d'un an, a été portée successivement à deux, puis à trois années sur les chemins de fer français. Elle a atteint quatre années sur quelques chemins d'Allemagne.

La Compagnie du Nord et celle de l'Est (à l'instar de celle du Nord) l'ont réduite de nouveau à deux années, mais en la rendant beaucoup plus efficace.

La garantie était de trois ans datant du jour de la livraison, et s'appliquait indistinctement à tous les rails posés sur la ligne; mais il arrivait que, la Compagnie ne se servant pas des rails immédiatement après la livraison, la durée de la garantie réelle s'en trouvait plus ou moins réduite. On avait aussi remarqué que les rails provenant d'une même usine se trouvant quelquefois placés sur différentes parties de la ligne, il devenait difficile d'en constater avec une exactitude suffisante la durée. On a stipulé dans les nouveaux cahiers de charges que la garantie daterait *du jour de l'emploi des rails* au lieu du jour de la livraison, et on a introduit certaines conditions nouvelles qui rendent la constatation de l'état des rails plus facile, plus sérieuse. Voici du reste dans son entier l'article relatif à la garantie.

La Compagnie n'entend recevoir que des rails pouvant faire un service de *deux ans* sans aucune détérioration sur les voies principales de son réseau. Elle s'assure par une expérience partielle que cette condition est remplie. Le fournisseur s'engage en conséquence, sur le prix stipulé au marché et pour l'ensemble de la fourniture, à une réduction proportionnelle au nombre de rails qui ne résisteraient pas à l'épreuve faite dans les conditions suivantes.

Dix pour cent au moins de la fourniture, pris à divers moments de la fabrication, au choix de la Compagnie, seront placés par elle sur la partie du réseau indiquée ci-dessus; il sera immédiatement donné au fournisseur connaissance de l'emplacement et de la date de cette pose. A l'expiration de deux années de service, on établira contradictoirement la proportion des rails avariés, c'est-à-dire ayant un commencement de détérioration comme écrasement, défaut de soudure, exfoliation, rupture, etc. Cette proportion sera appliquée à l'ensemble de la fourniture et servira à déterminer la quantité de tonnes passibles de l'indemnité, que tout ou partie seulement de la fourniture ait été mis en service.

Le taux de l'indemnité sera fixé de manière à représenter la différence de valeur entre une tonne de rails neufs et une tonne de rails hors de service. Le payement des rails auxquels l'indemnité devra s'appliquer aura lieu au plus tard trois ans après l'époque moyenne des livraisons faites à l'usine, que la voie d'essai ait ou non ses deux ans de service.

La responsabilité du fournisseur ne cessera que par la réception définitive, qui sera précédée de la reconnaissance contradictoire indiquée à l'article précédent. Cette reconnaissance devra être provoquée par le fournisseur, et les résultats ne seront valables qu'à la condition d'avoir été constatés moins d'un mois après la requête du fournisseur, même quand la voie d'essai aurait plus de deux ans de service.

Il est essentiel que le nom de l'usine, l'année et le mois de fabrication, soient marqués sur le rail, comme nous l'avons indiqué dans le premier volume, au moyen de la gravure faite dans la dernière cannelure des cylindres finisseurs. Autrement la garantie serait illusoire. On les marquait anciennement à chaud à la sortie des cy-

lindres; cette marque était souvent imparfaite et difficile à reconnaître au bout d'un certain temps.

Aujourd'hui, comme en Prusse, la Compagnie de l'Est exige que l'on grave dans la dernière cannelure des cylindres finisseurs le nom de l'usine, l'année et le mois de la fabrication; ces marques apparaissent alors parfaitement en relief et en différentes places sur le milieu du corps du rail.

Le cahier de charges stipule, indépendamment de l'essai par la pression, une épreuve par le choc, consistant à placer le rail (rail Vignolles, haut de 12 centimètres et large de 6 centimètres au champignon) sur deux appuis distants de $1^m,10$, et à laisser tomber sur ce rail un mouton de 300 kilogrammes d'une hauteur de 2 mètres. Le rail doit résister au choc du mouton.

Quelques fabricants prétendent que l'on ne peut obtenir des rails qui supportent cette épreuve qu'en employant une forte proportion de fer nerveux dans les trousses, et qu'alors les rails sont mal soudés. Les Compagnies toutefois l'ont maintenue, se réservant la faculté d'y renoncer si elles y trouvaient réellement un grave inconvénient.

Perfectionnement au frein automoteur Guérin. — M. Guérin

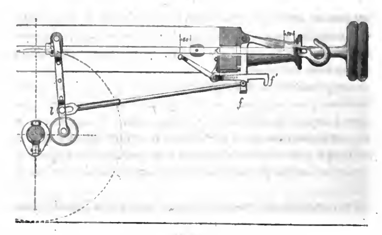


Fig. 654.

a apporté une grande simplification au mécanisme de son frein au-

tomoteur. Il a remplacé le manchon décrit page 274 par une came qui agit comme le montre suffisamment la figure 654.

A des vitesses de moins de 10 kilomètres par heure, le levier *l* et la fourche *f* restent dans la position représentée sur la figure. La vitesse dépassant 10 kilomètres, le choc que reçoit le levier de la came fait relever la fourchette et permet à l'appareil de fonctionner. On voit, en se reportant à la description du frein, page 274, qu'il peut agir alors à une vitesse de plus de 10 kilomètres, et cesse au contraire de fonctionner à une vitesse inférieure.

ACCESSOIRES DE LA VOIE.

Nous avons décrit dans le dernier chapitre de notre premier volume le système de disques Goubet et le système automoteur Baranowsky. Ces deux systèmes étaient alors à l'état d'essai sur les chemins de fer de l'Est, et on espérait en obtenir de bons résultats; mais l'expérience ne leur a pas été favorable.

Le système Goubet a paru trop compliqué et d'un entretien coûteux. Quant au système Baranowsky, il n'a jamais fonctionné d'une manière tout à fait satisfaisante.

MACHINES LOCOMOTIVES.

Distribution de la vapeur avec un seul excentrique — On emploie depuis peu de temps en Angleterre un système de distribution de la vapeur dans les machines locomotives avec un seul excentrique, au lieu de deux, pour chaque tiroir. Ce système est de l'invention de M. Sharp-Stewart, de Manchester. Il a été essayé sur les chemins de fer de l'Est et d'Orléans. *Il résulte de notes fournies par les ingénieurs des deux lignes que, abstraction faite de sa simplicité, le système Sharp paraît moins avantageux que le système ordinaire avec coulisse renversée.*

Ainsi, aux chemins de fer de l'Est, on n'a pu arriver à une bonne

réglementation qu'en adoptant pour l'appareil une disposition et donnant aux différentes parties des dimensions telles, qu'il se produisait des efforts considérables de flexion et de torsion qui n'ont pas lieu dans la distribution à coulisse de Stephenson.

Au chemin d'Orléans, les ingénieurs de la traction objectent au système Sharp les difficultés d'exécution de l'excentrique et les perturbations fâcheuses dans la distribution de la vapeur qui résultent du déplacement du point de suspension placé sur la chaudière. Enfin, en comparant la marche des tiroirs avec cet appareil à celle des tiroirs avec la coulisse renversée, ils trouvent que, l'avance constante étant de 5 millimètres avec une ouverture de $6^{m},6$ pour les grandes détentes (marche en avant), la distribution Sharp donne une admission de $\frac{18-18}{100}$ et une compression de $\frac{41-41}{100}$, tandis qu'avec la même ouverture la distribution à coulisse renversée offre une admission de $\frac{15-17}{100}$ plus faible, et, par suite, une plus grande détente avec une compression de $\frac{56-40}{100}$ moindre que celle de la distribution nouvelle.

Pour les grandes admissions (marche en avant), la distribution Sharp ne donne qu'une ouverture de 22 à 24 et demi, insuffisante au démarrage avec une admission de $\frac{75-74}{100}$, la compression étant de $\frac{8-8}{100}$, tandis qu'avec la distribution à coulisse renversée par une admission de $\frac{70-74}{100}$ à peu près semblable à la précédente, l'ouverture est de 32 − 28 et la compression de $\frac{8-11}{100}$.

Les résultats pour la marche en arrière sont tout aussi désavantageux pour l'appareil anglais.

NOUVELLES NOTES SUR LE FROTTEMENT.

Nous avons reproduit, page 651, l'opinion de MM. Bochet et Garella, qui pensent que le frottement de glissement n'est pas, comme on l'a supposé pour toutes les vitesses, indépendant des surfaces.

M. E. Morris, ingénieur civil, dans le journal du *Franklin-*

Institut, cite quelques expériences qui sembleraient confirmer cette opinion.

M. Morris croit aussi que l'évaluation de l'adhérence moyenne des machines locomotives à 1 sixième du poids qui la produit est insuffisante, et que cette adhérence moyenne pourrait être évaluée à 1 cinquième, surtout quand il s'agit de machines lourdes qui produisent une espèce de grippement entre la roue et le rail. M. Latrobe avait même trouvé, dans des expériences faites avec soin sur le chemin de l'Ohio, que l'adhérence des machines marchant lentement à pleines charges était de 1 tiers. Nous croyons toutefois que jusqu'à nouvel ordre il est prudent de ne régler la charge des machines que sur une adhérence de 1 sixième du poids.

DOCUMENTS

CHEMIN DE FER DE PARIS A STRASBOURG

OUTILLAGE DES ATELIERS D'ÉPERNAY.

1° *Atelier d'ajustage.*

5 mach.	2 machines à vapeur de vingt-cinq chevaux.	41,000f	»
	2 chaudières.	15.100	»
	1 petite machine à vapeur de quatre chevaux, pour élever l'eau dans le réservoir.	4,000	»
10	1 tour à roues de machines Crampton.	20,000	»
	2 tours à roues motrices de machines ordinaires.	33,000	»
	2 tours à petites roues de machines.	22,800	»
	5 tours à roues de tenders et de waggons.	43,000	»
23	2 gros tours parallèles de 0^m,500 de hauteur de pointes. .	22,000	»
	2 tours parallèles à fileter.	7,100	»
	1 tour à recentrer les essieux.	5,650	»
	1 tour sphérique.	4,400	»
	2 tours parallèles à engrenage. Hauteur des pointes. 0^m,420	5,500	»
	2 tours parallèles à engrenage. — — . 0^m,570.	4,500	»
	1 tour à fileter.	1,000	»
	3 petits tours parallèles. Hauteurs des pointes. . . 0^m,200.	2,250	»
	7 tours simples.	7,200	»
	2 tours simples à quatre poupées pour fileter les entretoises de foyer.	2.500	»
	1 tour simple à fileter les entretoises et tourner les écrous.	1,500	»
	4 tours simples et à engrenages à bancs de bois.	2,750	»
8	1 grande machine à raboter. Course 3^m,000; largeur 1^m,45.	8,000	»
	1 — — — 3^m,000; — 0^m,50.	3,000	»
	1 — — — 1^m,300; — 0^m,50.	2,000	»
	2 — — — » — 0^m,50	5,600	»
	2 — — — 1^m,500; — 0^m,50.	4,800	»
	1 pet. — — — 0^m,250; — 0^m,25.	500	»
4	1 grande limeuse Wittworth.	4,500	»
	3 petites limeuses.	4,200	»
4	1 grande machine à mortaiser.	11,540	»
	1 moyenne — —	5,940	»
	2 petites — —	5,660	»
1	1 machine à alaiser les trous des bâtons des manivelles des roues motrices.	3,880	»
	A REPORTER.	304,870	»

Report.	304,870f	»
2 { 1 grande machine à tarauder.	750	»
1 petite machine à tarauder.	250	»
10 { 1 machine à percer radiale.	4,000	»
1 machine à percer à colonnes.	750	»
1 machine à percer les trous des rivets des bandages.	500	»
7 machines à percer montées sur les colonnes des ateliers.	7,400	»
5 auges en fonte pour meules à repasser.	1,250	»
1 machine à essayer l'huile.	500	»
1 presse hydraulique à caler les roues.	2,100	»
1 scie circulaire.	600	»
2 marbres à dresser.	1,020	»
1 roue en bois pour tour.	100	»
1 machine à vérifier les balances à ressorts des soupapes de locomotives.	450	»
70 étaux d'ajusteurs.	4,550	»
120 mètres courants d'établis d'ajusteurs, avec tiroirs.	2,400	»
9 plaques tournantes de 2 mètres de diamètre.	4,950	»
Total de l'atelier d'ajustage.	336,440	336,440
2° *Atelier des bandages de roues et des forges.*		
2 forges doubles à souder les bandages.	1,300	»
2 forges simples.	1,000	»
3 enclumes.	600	»
1 grue en bois pour ces forges.	250	»
1 potence en fer.	100	»
1 four à chauffer les bandages droits.	5,000	»
2 fours circulaires à chauffer les bandages.	4,000	»
1 chariot à treuil pour ces fours.	2,000	»
1 grue en fonte.	3,500	»
1 machine à cintrer et mandriner les bandages	10,000	»
1 cuve à refroidir les bandages.	1,000	»
1 gros marteau-pilon de 1,500 kilogrammes.	13,500	»
1 chaudière et son fourneau, pour ce marteau.	5,000	»
1 four à réchauffer.	2,000	»
1 marteau-pilon de 250 kilogrammes.	4,600	»
1 marteau-pilon de 80 kilogrammes.	2,400	»
10 forges maréchales doubles.	6,500	»
20 enclumes de 175 kilogrammes chaque.	1,500	»
3 étaux à chaud (450f).	675	»
10 potences en fer.	1,000	»
6 soufflets en cuir.	900	»
1 grue en bois et fer.	250	»
1 ventilateur.	750	»
Total de l'atelier des bandages et des forges.	67,825	67,825
3° *Atelier des ressorts et de la chaudronnerie.*		
5 forges doubles.	3,250	»
2 forges simples.	1,000	»
12 enclumes (150f).	1,800	»
A reporter.	6,050	404,265

Report.	6,050f	404,265f
2 étaux à chaud (400k).	560	»
20 étaux d'ajusteurs (50k).	1,280	»
4 marbres en fonte à dresser.	750	»
1 machine à cintrer les ressorts.	835	»
1 laminoir à ressorts.	4,600	»
1 machine à couper les tôles.	5,600	»
1 machine à percer les tôles.	3,800	»
2 grosses meules à aiguiser.	1,000	»
1 presse à essayer les tubes en laiton.	175	»
Cuves et fourneaux à nettoyer et sécher les tubes	600	»
6 soufflets en cuir.	900	»
1 ventilateur.	700	»
20 mètres d'établis en bois avec tiroirs.	350	»
Total de l'atelier des ressorts et de la chaudronnerie.	25,200	25,200
4° Atelier de montage des locomotives et tenders.		
2 chariots roulants pour locomotives.	5,000	»
1 chariot roulant pour tenders.	2,000	»
2 grues roulantes de montage.	10,000	»
1 grande grue à lever les machines et tenders.	12,500	»
170 étaux d'ajusteurs.	11,050	»
300 mètres courants d'établis et 200 tiroirs avec serrures.	6,000	»
Total de l'atelier de montage.	46,550	46,550
Total général.		476,015

RÉCAPITULATION

Atelier d'ajustage.	336,440f	476,015 fr.
Atelier des bandages de roues et forges.	67,825	
Atelier des ressorts et de la chaudronnerie.	25,200	
Atelier de montage.	46,550	

Nota. Le chiffre de 476,015 fr. ne comprend que l'acquisition des outils ci-dessus; il faudrait ajouter environ 16 pour 100 pour l'installation, comprenant les transmissions de mouvement, les fondations et la pose des outils. (76,160 fr.)

Les voies de fer, grandes plaques tournantes et cheminées des machines à vapeur ne sont pas comprises dans cette dépense.

L'outillage des ateliers d'Epernay a été récemment complété par les outils suivants :

1 marteau-pilon de 90 kilog.	2,400f	25,400 fr.
1 marteau-pilon de 500 kilog.	6,000	
2 grosses forges pour les divers marteaux.	3,000	
1 machine radiale.	4,500	
1 machine à aléser les cylindres.	4,500	
3 ou 4 petits tours.	5,000	

CHEMIN DE FER DE PARIS A STRASBOURG

OUTILLAGE DE L'ATELIER DE MONTIGNY.

1° *Atelier d'ajustage.*

1 Machine à vapeur horizontale à haute pression, complète avec sa chaudière, ses tuyaux en cuivre, pompe à eau froide, et en général tous les accessoires nécessaires à sa marche, tels que clefs, manomètres, fourneaux, deux chaudières à vapeur.		
Machine et sa chaudière. . . . . 15,000f 00 Nouvelle chaudière. . . . . 3,113 60 Fourneau et tuyaux. 3,500 00	21,613f 60	»
1 réservoir à eau alimentant la machine à vapeur et les bornes-fontaines des ateliers avec tuyaux en cuivre, robinets, etc.	1,500 »	»
16 colonnes en fonte supportant la transmission du mouvement des machines à percer et des treuils.	2,750 »	»
2 treuils tournants fixés aux colonnes.	350 »	»
1 tour parallèle de 0m,330 de hauteur de pointes, banc en fonte de 4m,000 de longueur avec chariot, etc.	4,500 »	»
1 tour à essieux de 0m,300 de hauteur de pointes, banc en fonte de 3m,600 de longueur avec chariot, etc. . . .	2,200 »	»
2 tours parallèles à fileter de 0m,270 de hauteur de pointes, banc de 3m,700 de longueur avec chariot, etc. . .	7,100 »	»
1 tour simple de 0m,210 de hauteur de pointes, banc en fonte de 4m,00 de longueur avec support.	1,200 »	»
1 tour simple de 0m,210 de hauteur de pointes, banc en fonte de 2m,400 de longueur avec support, etc.	900 »	»
1 petit tour à fileter à banc triangulaire de 1m,500 de longueur.	750 »	»
1 tour de l'école de Châlons de 0m,300 de hauteur de pointes, banc en fonte de 4 mètres de longueur avec support, etc.	1,400 »	»
1 tour simple de 0m,300 de hauteur de pointes, banc en fonte de 2m,500 de longueur avec support, etc.	700 »	»
1 tour double à tourner les roues motrices avec banc en fonte, 2 chariots, etc.	14,000 »	»
4 tours doubles à tourner les roues de waggons avec bancs en fonte, 2 chariots, etc.	35,000 »	»
1 machine à raboter à crémaillère et à plateau mobile, d'une course de 1 mètre et 0m,450 de largeur	2,800 »	»
1 machine à raboter à crémaillère et à plateau mobile d'une course de 1m,500, etc.	2,580 »	»
1 machine à raboter à levier et à plateau mobile, d'une course de 0m,500, etc.	2,800 »	»
1 machine à mortaiser de 0m,140 de course avec bâti en fonte, etc.	2,800 »	»
A REPORTER.	104,923 60	»

Report.	104,923f 60	»
1 machine à mortaiser de 0m,200 de course avec bâti en fonte, etc.	3,500 »	»
1 machine à mortaiser de 0m,200 de course avec bâti en fonte, etc.	2,335 »	»
1 machine à aléser verticale avec bâti en fonte, tablier circulaire, etc.	2,200 »	»
1 étau-limeur complet de 0m,140 de course.	1,200 »	»
1 limeuse avec bâti en fonte, etc.	1,400 »	»
3 machines à percer fixées aux colonnes avec plateau tournant et variable.	2,250 »	»
1 machine à percer radiale avec bâti en fonte et 1m,500 de rayon de développement.	4,500 »	»
1 machine à tarauder avec bâti en chêne.	450 »	»
1 marbre à dresser de 2 mètres de longueur avec bâti en chêne.	250 »	»
2 auges en fonte pour meules à aiguiser.	400 »	»
2 forges portatives de 0m,60 carré avec soufflet.	290 »	»
28 étaux d'ajusteurs d'un poids d'environ 50k chacun.	1,820 »	»
40 mètres d'établis en chêne avec tiroirs.	780 »	»
Total.	126,298 60	126,298f 60
2° *Forges et montage.*		
2 forges quadruples avec bâti en fonte et fer, et huit feux de forges, enclumes, etc.	4,150 »	»
3 étaux à chaud et un à tarauder.	750 »	»
1 ventilateur de 0m,60 de diamètre et 0m,25 de large.	650 »	»
20 étaux d'ajusteurs, de monteurs et de chaudronniers.	1,500 »	»
1 chariot pour locomotives.	2,500 »	»
1 grue roulante.	4,500 »	»
1 marteau-pilon.	2,400 »	»
1 grande grue pour lever les locomotives.	12,500 »	»
Total.	28,750 »	28,750 »
3° *Ateliers des waggons.*		
38 établis de menuisiers.	1,900 »	»
3 scies circulaires.	1,500 »	»
1 tour simple de 0m,320 de hauteur de pointes, banc en en fonte de 4m,00 de longueur avec support, etc.	1,200 »	»
1 tour à bois de 0m,280 de hauteur de pointes, banc en fonte de 3 mètres de longueur avec support, etc.	1,100 »	»
2 treuils tournants fixés aux colonnes.	330 »	»
1 treuil à engrenage monté sur semelle en bois, montant en fonte.	140 »	»
2 auges moyennes de meule à aiguiser.	500 »	»
3 forges portatives avec tuyaux de fumée.	750 »	»
40 étaux d'ajusteurs.	2,600 »	»
50 mètres d'établis avec tiroirs.	1,000 »	»
3 chariots à voitures et waggons.	4,500 »	»
Total.	15,320 »	15,320 »
Total général.	.....	170,368 60

RÉCAPITULATION

Atelier d'ajustage	126,298f 60	170,368f 60.
Forges et montage	28,750 »	
Atelier des waggons	15,320 »	

Nota. Le chiffre de 170,368 fr. 60 c. ne comprend que l'acquisition des outils ci-dessus; il faudrait ajouter environ 16 pour 100 (27,260 fr.) pour l'installation, comprenant les transmissions de mouvement, les fondations et la pose des outils.

Les voies de fer, grandes plaques tournantes et cheminées des machines à vapeur ne sont pas comprises dans cette dépense.

L'outillage de cet atelier a été récemment complété par les outils suivants :

1 presse à caler les roues	2,500 fr.	16,550 fr.
1 marteau-pilon de 250k	4,600	
1 machine à raboter	2,800	
1 limeuse	1,400	
1 scie circulaire	450	
1 grand marbre à dresser	800	
1 grue pour monter les roues sur le tour	1,000	
1 grosse meule à aiguiser	500	
2 petits tours	2,500	

ATELIER DE LA VILLETTE ET CARROSSERIE.

1 machine à vapeur de 16 chevaux à haute pression sans condensation avec ses deux chaudières	20,400 fr.
Fourneau et tuyaux	4,500
1 machine à monter l'eau, avec sa chaudière et son fourneau	4,500
5 tours à roues de waggons	50,000
1 tour parallèle à fileter	3,600
1 tour à bois	1,100
1 tour à boulons	900
1 machine à raboter	2,580
1 machine à mortaiser	2,335
2 petites limeuses	2,800
1 grande machine à percer	1,785
2 petites machines à percer	1,000
2 meules à aiguiser	400
5 petites plaques tournantes à raison de 550 fr.	2,750
2 forges doubles avec enclumes et étau chaud	2,340
1 ventilateur	750
80 étaux d'ajusteurs à raison de 65 fr.	5,200
125 mètres d'établis d'ajusteurs	2,255
1 chariot pour les machines	2,500
1 chariot pour les waggons	600
1 grue pour lever les machines	12,500
2 scies circulaires	1,000
Total	125,795 fr.

La somme de 125,795 fr. ne représente que la dépense pour l'acquisition des outils; il faudrait ajouter environ 16 pour 100, soit une somme de 20,000 fr., pour leur installation, transmissions de mouvement, fondations et pose.

On a ajouté dernièrement à cet outillage :

1 petit marteau-pilon évalué	2,400 fr.
1 scie verticale	4,000
1 tour à roues de locomotives	14,000
1 machine à faire des coins	1,000
1 grande meule à aiguiser	500
Total	21,900 fr.

LONGUEUR DES HALLES COUVERTES DE PLUSIEURS GARES DE CHEMINS DE FER.

100 mètres de longueur couvrent un train de 15 voitures.

Gare du Mans	130m,00
Gare de Nantes	120 00
Gare de Bordeaux	120 00
Gare des Aubrais	120 00
Gare de Toulouse	100 00
Gare de Wissembourg	94 00
Gare de Nevers	95 00

Cette dernière gare n'est encore que la tête d'un embranchement de 12 kilomètres.

Halle des marchandises de Toulouse	150m sur 22m.
Halle des marchandises de Limoges	100 sur 20

(Extrait des *Nouvelles Annales de la construction*.)

PRIX DIVERS ACTUELS DU MATÉRIEL

Prix d'une locomotive à voyageurs Stephenson	42,000 fr.
— — à 4 roues couplées	45,000
— — à marchandises (poids 24 t.)	48,000
— — Crampton	55,000
— — à marchandises (très-puissante, avec tender, mod. Sommering)	95,000
— — tender pour service de gares	35,000
Prix d'un tender de machine Stéphenson contenant 5m3 d'eau, pesant 8,300 kilog.	9,150
— — — Crampton cont. 6m3 d'eau, pesant 10 ton.	11,000
Prix d'une voiture de 1re classe (modèle Strasbourg, roues et ressorts compris)	10,000
— — à coupé (modèle Strasbourg)	11,000
— — de 2e classe (— sans guérite)	5,300
— — (— avec guérite et freins)	6,100
— — à impériale du chemin de Vincennes	7,100
— — mixte (—)	7,500
— — de 3e classe (— sans guérite)	5,000

Prix d'une voiture de 3e classe (avec guérite et freins)	6,123 fr.
Longueur de caisse de 1re —	5m,50
— — de 2e —	5 00
— — de 3e —	5 75
Prix d'un waggon à bagages	5,000 fr.
— — à bestiaux	3,500
— — à houille (pouvant porter 10 tonnes)	3,400
— — plat à marchandises	3,000
Prix d'un truck à chaise de poste	3,000
Prix d'un waggon mixte du Midi en bois de *teack*. Longueur de la caisse 7m, sans roues, ressorts, boîtes à graisse et plaques de garde	11,000
Prix d'une voiture de 1re classe d'Orléans en *teack*. Longueur 6m, sans roues, ressorts, boîtes à graisse	12,000
Prix d'une machine à marchandises (Engerth)	107,000
— paire de roues montée (Strasbourg), pesant 750 kilog	547,50
Prix d'une boîte à graisse ancien modèle	18
— — nouveau modèle	27
Prix des ressorts acier fondu (actuellement), le kilogramme	0,95
Poids d'un ressort de suspension pour waggon de 10 tonnes	35 k.
— — de traction — — —	60
— — de suspension de voiture à voyageurs	45
— — de traction — —	70

PRIX DE REVIENT DES CAISSES A CHARBON DE BOIS.

Détail approximatif du prix de revient d'une banne :

Ferrements	50 fr
Bois pour la carcasse	15
Façon (charronnage)	12
Rhabillage en fascines	7
Montage	6
Frais généraux	10
TOTAL	100 fr.

PRIX DE REVIENT DES CAISSES A COKE DE M. DE WENDEL.

La barre de fer qui traverse en haut la largeur de la caisse est destinée à maintenir l'écartement des côtés.

Détail du prix de revient :

Bois de chêne	12f,55
Bois de sapin	17 95
Fers des cornières	43 10
Ferrements divers	117 46
Houille pour forge	1 02
Peinture	16 »
Main-d'œuvre { Forge et ajustage	21 »
Main-d'œuvre { Menuiserie	12 »
Frais généraux	60 27
TOTAL	301f,35

OBSERVATIONS

SUR LES TYPES DES STATIONS DU CHEMIN DE L'OUEST DE CAEN A CHERBOURG.

(Voir les tableaux plus loin.)

La station de Bayeux est la seule station de 1re classe sur laquelle nous possédions des renseignements. Les stations d'Isigny, Carentan et Sainte-Mère-Église, bien qu'étant de 2e classe, comme celle de Valognes, ont coûté des prix plus ou moins élevés.

Ainsi, la station de Valognes ayant coûté. . . . . 77,526 fr.
celle d'Isigny a coûté. 57,515
celle de Carentan. 84,570
celle de Sainte-Mère-Église. 66,288

Dans toutes ces stations, le bâtiment des voyageurs est de mêmes dimensions, si ce n'est toutefois à Isigny, où il a 295 mètres carrés de superficie. Les quais à voyageurs sont partout semblables, et les cabinets d'aisances ont également même étendue, exception faite d'Isigny, où il n'en existe pas en dehors du bâtiment des voyageurs. Les hangars à marchandises, enfin, qui, à Valognes, Sainte-Mère-Église et Carentan, ont 510 mètres de surface, n'en ont que 480 à Isigny.

Les différences dans ce prix total tiennent surtout à des différences dans les prix élémentaires dans les localités où se trouvent les stations, au plus ou moins d'étendue de certaines dépendances, et à l'existence d'aménagements supplémentaires, qui, nécessaires sur certains points, ne le sont pas sur d'autres.

Ainsi, le mètre carré du bâtiment des voyageurs coûtant, à Valognes et à Sainte-Mère-Église. 140 fr.
en a coûté, à Carentan. 160
et n'est revenu, à Isigny, qu'à. 105

Le mètre carré d'annexe, de cabinets d'aisances, coûtant, à Valognes et à Sainte-Mère-Église. 58 fr. 50 cent.
a coûté, à Carentan. 78 50

Le mètre carré de lampisterie coûtant, à Valognes et à Sainte-Mère-Église. . . . . 38 fr. 50 cent.
à Carentan, s'est élevé à. . . . . 49 »

Le mètre carré de hangar à marchandises coûtant, à Valognes	30	»
a coûté, à Sainte-Mère-Église	33	70
à Carentan	35	»
et à Isigny	30	»

Lorsque, à Valognes, nous trouvons une remise pour 6 waggons, nous n'en trouvons aucune à Sainte-Mère-Église, et nous en trouvons pour 3 waggons seulement à Carentan. A Carentan, on rencontre comme à Sainte-Mère-Église un bâtiment machine fixe de 28 mètres carrés de superficie, tandis qu'à Valognes il a 40 mètres. A Isigny, ce bâtiment n'existe pas. — Si à Valognes et à Carentan les écuries peuvent contenir 10 chevaux et les remises 5 voitures, à Isigny l'écurie ne peut contenir que 6 chevaux et la remise 3 voitures, à Sainte-Mère-Église l'écurie 4 chevaux et la remise 2 voitures.

Il en est des stations de 3e classe comme de celles de 2e.

La station de Sottevast ayant coûté	38,374 fr.
celle de Couville a coûté	38,374
celle de Martinvast	37,122
celle de Montebourg	34,789
celle de Lamolay	55,341
celle d'Andrieu	60,774

Les différences s'expliquent de la manière suivante :

Les prix élémentaires varient :

Ainsi le mètre carré de bâtiment pour les voyageurs coûtant, à Sottevast	160 fr.
a coûté, à Montebourg	120
et à Bretteville	180
dans les autres stations de 3e classe, comme à Sottevast	160

Le mètre carré de cabinets d'aisances coûtant, à Sottevast, à Lemolay, à Bretteville et à Andrieu	96 fr.	50 cent.
n'a coûté, à Montebourg, que	76	50

Le mètre carré de lampisterie coûtant, à Sottevast et dans les autres stations précitées	58	50
n'est revenu, à Montebourg, qu'à	45	25

Le mètre carré de hangar à marchandises coûtant, à Sottevast, Couville, Lemolay et Andrieu	30 fr.	» cent.
a coûté à Montebourg, Martinvast et Bretteville	33	70

A Couville et à Martinvast, les dépendances sont les mêmes qu'à Sottevast, et les prix sensiblement les mêmes.

Les dimensions des bâtiments à voyageurs, des cabinets d'aisances, de la lampisterie, des écuries et des remises, sont les mêmes dans toutes les stations de 3e classe. Les quais à voyageurs et les hangars à marchandises sont de mêmes dimensions à Sottevast, Couville, Martinvast et Montebourg. Les hangars à marchandises aussi sont égaux en superficie à Bretteville et dans les stations susnommées. Mais, à Montebourg, à Lemolay, à Bretteville et à Andrieu, il existe des abris que l'on ne trouve pas à Sottevast; à Andrieu, on trouve un dépôt de machines qui n'était pas nécessaire à Sottevast; à Lemolay et à Andrieu, enfin, les hangars à marchandises sont presque le triple de ce qu'ils sont à Sottevast.

ÉTAT

DES DÉPENSES FAITES POUR LA CONSTRUCTION DES STATIONS

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET NATURE DES TRAVAUX.	MONTANT DES DÉPENSES PAR OUVRAGE.
STATION DE BAYEUX.	
REZ-DE-CHAUSSÉE ET PREMIER ÉTAGE. — TYPE DE 1re CLASSE	
Bâtiment de voyageurs, 1re classe.	44,850f »
Quais de voyageurs avec bordure en pierre.	3,900 »
Abri opposé à la station.	4,462 »
Annexe, 1re classe. Cabinet d'aisances.	8,076 »
— —. Lampisterie, télégraphie.	5,868 50
Hangar à marchandises, 2e classe.	15,300 »
Bureaux, magasins pour colis, etc.	800 »
Quai découvert.	799 50
Quai à bestiaux.	713 »
Grue à chargement, 6 tonnes	1,765 »
— — 1 tonne 1/2.	1,200 »
Pont à bascule de 20 tonnes.	250 »
Remises pour locomotives et pour trains.	15,000 »
Grande fosse à piquer le feu.	1,998 »
Remise à waggons.	5,625 »
Quai à chaises de poste.	475 50
Quai pour chevaux.	523 05
Écurie pour camionnage.	5,052 »
Remise pour voitures.	1,989 »
4 grues d'alimentation.	1,200 »
Bâtiment machine fixe.	1,600 »
Support de réservoir.	2,012 20
Fosses à piquer le feu sur les voies.	2,664 »
Magasin à coke	750 »
Gabarit.	150 »
DÉPENSE TOTALE DE LA STATION.	126,995 75
STATION DE VALOGNES.	
REZ-DE-CHAUSSÉE ET PREMIER ÉTAGE. — TYPE DE 2e CLASSE.	
Bâtiment à voyageurs, 2e classe.	26,775 »
Quai à voyageurs avec bordure en pierre.	1,950 »
A REPORTER.	28,725 »

GÉNÉRAL

DU CHEMIN DE FER DE CAEN A CHERBOURG.

PRIX DE DÉBOURSÉ POUR LES CONSTRUCTIONS

AU MÈTRE LINÉAIRE OU AU MÈTRE SUPERFICIEL.

$31^m,50 \times 9,50 = \frac{44,8[illegible]0,00}{299^m,25}$, le mètre superficiel. . . .	=	150 fr.	» cent.
$\frac{3,900,00}{260^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	15	»
$25^m,00 \times 4,00 = \frac{4,462,00}{92^m,00}$, le mètre superficiel.	=	48	50
$22^m,00 \times 5,50 = \frac{8,076,00}{121^m,00}$, le mètre superficiel.	=	66	50
$22^m,00 \times 5,50 = \frac{5,868,50}{121^m,00}$, le mètre superficiel.	=	48	50
$30^m,00 \times 17,00 = \frac{15,300,00}{510^m,00}$, le mètre superficiel. . . .	=	30	»
$8^m,00 \times 4,00 = \frac{800,00}{32^m,00}$, le mètre superficiel.	=	25	»
$\frac{792,50}{50^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	15	85
$\frac{713,00}{45^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	15	85
$40^m,00 \times 15,00 = \frac{15,000,00}{600^m,00}$, le mètre superficiel. . . .	=	25	»
$\frac{1,998,00}{30^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	66	»
$25^m,00 \times 9,00 = \frac{5,625,00}{225^m,00}$, le mètre superficiel. . . .	=	25	»
$\frac{475,50}{30^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	15	85
$\frac{[illegible]}{35^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	15	85
$15^m,00 \times 8.00 = \frac{5,052,00}{120^m,00}$, le mètre superficiel.	=	42	10
$15^m,00 \times 6,00 = \frac{1,989,00}{90^m,00}$, le mètre superficiel.	=	22	10
$8^m,00 \times 5,00 = \frac{1,600,00}{40^m,00}$, le mètre superficiel.	=	40	»
$6^m,00$ de diamètre $= \frac{2,012,20}{55^m,30}$, le mètre superficiel. . . .	=	40	»
$\frac{2,664,00}{40^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	66	60
$25^m,00 \times 2,00 = \frac{750,00}{50^m,00}$, le mètre superficiel.	=	15	»
$22^m,50 \times 8,50 = \frac{26,775,00}{191^m,25}$, le mètre superficiel.	=	140	»
$\frac{1,950,00}{130^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	15	»

DÉSIGNATION DES OUVRAGES ET NATURE DES TRAVAUX.	MONTANT DES DÉPENSES PAR OUVRAGE.
Report	28,725f »
Annexe. Cabinet d'aisances	4,987 13
— Lampisterie et magasin	3,282 12
Hangar à marchandises, 2e classe	15,500 »
Bureaux et magasins pour colis	640 »
Quai découvert	792 50
Quai à bestiaux	634 »
Grue de 6 tonnes	1,765 »
— 1 tonne 1/2	1,200 »
Pont à bascule de 20 tonnes	250 »
Remise pour 6 waggons	4,500 »
Quais à chevaux et à chaises de poste	634 »
Écurie pour 10 chevaux	5,052 »
Remise pour 5 voitures	1,989 »
Grue d'alimentation	1,200 »
Fosse à piquer le feu	2,664 »
Bâtiment machine fixe	1,600 »
Support de réservoir	2,012 »
Gabarit	150 »
Jardin et clôture	150 »
Dépense totale de la station	77,526 75
STATION DE SOTTEVAST.	
REZ-DE-CHAUSSÉE ET PREMIER ÉTAGE. — TYPE DE 3e CLASSE.	
Bâtiment à voyageurs, 3e classe	21,580 »
Quai à voyageurs avec bordure en pierre	1,950 »
Annexe. Cabinet d'aisances	3,256 »
— Lampisterie et magasins	1,974 38
Hangar à magasin, 3e classe	4,680 »
Quai découvert	396 25
Grue de 6 tonnes	1,765 »
Pont à bascule de 20 tonnes	250 »
Écurie pour 4 chevaux	1,692 12
Remise pour 2 voitures	579 87
Gabarit	150 »
Jardin et clôture	100 »
Dépense totale pour la station	38,373 92

PRIX DE DÉBOURSÉ POUR LES CONSTRUCTIONS

AU MÈTRE LINÉAIRE OU AU MÈTRE SUPERFICIEL.

$15^m,50 \times 5,50 = \frac{4.987,13}{85^m,25}$, le mètre superficiel.	=	58 fr.	50 cent.
$15^m,50 \times 5,50 = \frac{5.482,12}{85^m,75}$, le mètre superficiel.	=	58	50
$30^m,00 \times 17,00 = \frac{15.300,00}{510^m,00}$, le mètre superficiel. . . .	=	30	»
$8^m,00 \times 4,00 = \frac{640,00}{32^m,00}$, le mètre superficiel.	=	20	»
$\frac{792,50}{50^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	15	85
$\frac{634,00}{40^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	15	85
$25^m,00 \times 9,00 = \frac{4.500,00}{225^m,00}$, le mètre superficiel.	=	20	»
Ensemble $\frac{634,00}{40^m,00}$, le mètre linéaire.	=	15	85
$15^m,00 \times 8,00 = \frac{5.052,00}{120^m,00}$, le mètre superficiel.	=	42	10
$15^m,00 \times 6,00 = \frac{1.989,00}{90^m,00}$, le mètre superficiel.	=	22	10
$8^m,00 \times 5,00 = \frac{1.600,00}{40^m,00}$, le mètre superficiel.	=	40	»
$6^m,00$ de diamètre $= \frac{2.012,00}{50^m,30}$, le mètre superficiel. . .	=	40	»
$17^m,00 \times 8,00 = \frac{21.760,00}{136^m,00}$, le mètre superficiel.	=	160	»
$\frac{1.950,00}{130^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	15	»
$7^m,50 \times 4,50 = \frac{3.256,00}{33^m,75}$, le mètre superficiel.	=	96	50
$7^m,50 \times 4,50 = \frac{1.974,38}{33^m,75}$, le mètre superficiel.	=	58	50
$12^m,00 \times 13,00 = \frac{4.680,00}{156^m,00}$, le mètre superficiel.	=	30	»
$\frac{396,2}{25^m,00}$ de longueur, le mètre linéaire.	=	15	85
$6^m,70 \times 6,00 = \frac{1.692,42}{40^m,00}$, le mètre superficiel.	=	42	10
$5^m,70 \times 4,50 = \frac{579,87}{25^m,65}$, le mètre superficiel.	=	22	10

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CE VOLUME

CHAPITRE IX. — De la disposition des gares.

Gares extrêmes.

CHAPITRE X. — Des waggons ou voitures employées sur les chemins de fer.

CHAPITRE XI. — Des moteurs.

CHAPITRE XII. — Des machines locomotives.

CHAPITRE XIII. — DIMENSIONS DES MACHINES, CAHIER DES CHARGES, DURÉE ET CONSOMMATION EN COMBUSTIBLE.

CHAPITRE XIV. — DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE CERTAINS TYPES DE MACHINES.

Machines pour fortes rampes et très-petite vitesse.

Machines-tenders.

Machines américaines.

CHAPITRE XV. — DÉTERMINATION, PAR LE CALCUL ET PAR L'EXPÉRIENCE, DES RÉSISTANCES AU MOUVEMENT DES WAGGONS SUR LES CHEMINS DE FER.

CHAPITRE XVI. — THÉORIE DES LOCOMOTIVES.

CHAPITRE XVII. — Des nouveaux systèmes adoptés ou proposés dans le but de perfectionner la voie ou le matériel des chemins de fer.

RÉSUMÉ DU TRAITÉ

ET PRINCIPES QUI DOIVENT PRÉSIDER A LA CONSTRUCTION DES CHEMINS DE FER.

APPENDICE.

DOCUMENTS.

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES DU SECOND VOLUME.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CET OUVRAGE

C

E

F

G

H

I

J

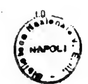
N

Q

R

S

FIN DE LA TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE VOLUME.



ERRATA

DU PREMIER ET DU SECOND VOLUME

PREMIER VOLUME

Page 8, ligne 41, à la note, *au lieu de :* 40 tonnes de poids utile, *lisez :* 400 tonnes...

SECOND VOLUME.

Page 4, ligne 2, *au lieu de :* ou de les y faire monter à couvert, *lisez :* et de les y faire monter...

Page 43, *au lieu de :* côté de l'arrivée, *lisez :* côté du départ.

Même page, *au lieu de :* côté du départ, *lisez :* côté de l'arrivée.

Page 65, 4e ligne de la note, *au lieu de :* le tournage, *lisez :* le tonnage.

Page 67, 3e ligne de la légende, *au lieu de :* halles à marchandises aux grues Armstrong, *lisez :* avec grues Armstrong.

Page 69, *au lieu de :* Gare de Great-Northern, *lisez :* Gare du...

Page 79, ligne 1, *au lieu de :* et de la largeur, *lisez :* et de la longueur.

Même page, 4e alinéa, *au lieu de :* On peut remplacer les deux voies par une voie unique, *lisez :* les deux voies de garage...

Page 81, ligne 1, *au lieu de :* le bâtiment B et le trottoir T, *lisez :* le bâtiment et le trottoir T.

Même page, ligne 2, *au lieu de :* par la voie V, *lisez :* par la voie montante.

Même page, ligne 4, *au lieu de :* sur la voie de garage V″, *lisez :* sur la voie de garage contiguë au trottoir T.

Même page, ligne 5, *au lieu de :* la voie V′, *lisez :* la voie descendante ; *au lieu de :* le bâtiment B′ et le trottoir T′, *lisez :* le bâtiment et le trottoir T′.

Même page, ligne 6, *au lieu de :* la voie V′, *lisez :* la voie descendante.

Même page, ligne 8, *au lieu de :* garage V‴, *lisez :* de garage contiguë au trottoir T′.

Même page, ligne 9, *au lieu de :* la voie V′, *lisez :* la voie descendante.

Page 104, légende de la station de Chelles à remplacer par celle-ci : A Palier, B Escalier, C Vestibule, DEF Salles d'attente, G Billets, H Passage, I Bagages, J Voie, K Chef de gare, L Consigne.

Page 212, ligne 13, *au lieu de :* acier de cémentation, *lisez :* acier corroyé.

Page 214, lignes 17 et 18, *au lieu de :* depuis longtemps, *lisez :* jusqu'à ce jour.

Page 665, titre du chapitre, *au lieu de :* Travail de la locomotion, *lisez :* Travail de la locomotive.

AVIS AU RELIEUR

POUR LE PLACEMENT DES TABLEAUX ET PLANCHES.

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1

